

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky



Elektrochemická koroze úložných zařízení

Electrochemical Corrosion of Subterranean Facilities

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Martinec**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Elektrochemická koroze úložných zařízení**
Electrochemical Corrosion of Subterranean Facilities

Zásady pro vypracování:

1. Elektrochemická koroze bludnými proudy
2. Měření protikorozi ochrany
3. Měření ve vybrané lokalitě
4. Vyhodnocení naměřených hodnot


Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Paleček J., Vybrané kapitoly z problematiky elektrotechniky v dopravním inženýrství, VŠB-TU Ostrava 1996
- [2] Koroze úložných zařízení 95, sborník Košice 28.-29.6.1995
- [3] ČSN EN 50122-2 Drážní zařízení-Pevná trakční zařízení – Část2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami, platná od 2001

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Kolář, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012
Datum odevzdání: 07.05.2014


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne:

.....

Miroslav Martinec

Poděkování:

Chtěl bych zde poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Václavu Kolářovi, PhD. a také panu profesoru Ing. Josefu Palečkovi, CSc., za cenné připomínky, odbornou pomoc a zázemí pro vytvoření této práce.

Dále bych zde chtěl poděkovat panu Ing. Miroslavu Šimečkovi a panu Tomáši Dědinovi za poskytnutí dat z měření v terénu, odbornou pomoc a umožnění přístupu na vyhrazená zařízení.

Abstrakt

Tato diplomová práce přibližuje problematiku elektrochemické koroze bludnými proudy. Popisuje princip elektrochemické koroze, rozebírá příčiny, důsledky, prevenci a ochranu před elektrochemickou korozí.

Praktická část práce je zaměřena na měření potenciálů, bludných proudů a izolačního odporu na zařízeních ČD, RWE, ŠPVS a dalších objektech ohrožených elektrochemickou korozí.

Klíčová slova

Elektrochemická koroze, bludné proudy, protikorozní ochrana, aktivní protikorozní ochrana, pasivní protikorozní ochrana, polarizovaná drenáž, referenční elektroda, měřicí systém Korodat.

Abstract

This thesis approaches the issue of electrochemical corrosion by stray currents. It describes the principle of electrochemical corrosion and analyses the causes, consequences, prevention and protection against the electrochemical corrosion.

The practical part is focused on measurements of the potentials, stray currents, insulation resistance on the ČD, RWE, ŠPVS devices and the other objects which are at risk of electrochemical corrosion.

Keywords

Electrochemical corrosion, stray currents, corrosion protection, active corrosion protection, passive corrosion protection, polarized drainage, reference electrode, Korodat measuring system.

Seznam zkratek:

apod.	a podobně
atd.	a tak dále
a.s.	akciová společnost
Cu/CuSO ₄	síranoměďnatá elektroda dle normy ČSN EN 13509
cca	circa (přibližně)
ČD	České dráhy
ČL	článek
ČR	Česká republika
ČSN	česká státní norma
č.	číslo
č.b.	číslo měřicího bodu (dle RWE)
č.pl.	číslo plynovodu
EN	evropská norma
EPD	elektrická polarizovaná drenáž
HDP	hrubý domácí produkt
KAO	katodická ochrana
KS	kabelová skříň
KVO	kontrolní vývod nadzemní
MB	měřicí bod (odpovídající č. 166 ČSN 03 8005)
MM	měřicí místo (ve smyslu upřesnění lokality, ve které bylo korozní měření)
max.	maximální
min.	minimální
mj.	mimo jiné
NTL	nízkotlaký plynovod
např.	například
PKO	protikorozní ochrana
POACH	propojovací objekt bez výstroje a chránička
POB	propojovací objekt s výstrojí
POBCH	propojovací objekt s výstrojí a chráničkou
POIS	propojovací objekt izolačního spoje
POISCH	propojovací objekt izolačního spoje a chráničky
POISOB	propojovací objekt izolačního spoje s výstrojí
popř.	popřípadě

RS	regulační stanice plynu
RWE	Severomoravská plynárenská společnost, a.s.
resp.	respektive
ŘSKAO	stanice řízené katodické ochrany
SKAO	stanice katodické ochrany
SO	spojovací objekt
SOA	spojovací objekt anodového uzemnění
SpS	spínací stanice
STL	středotlaký plynovod
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
ŠPVS	Šumperská provozní vodohospodářská společnost, a.s
TÚDC	Technická ústředna dopravní cesty
TNS	trakční napájecí stanice
tj.	to jest
tzn.	to znamená
tzv.	tak zvaný
ÚEE	úsek elektrotechniky a energetiky
ul.	ulice
VŠB-TU	Vysoká škola báňská – Technická univerzita
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
VTL	vysokotlaký plynovod
vč.	včetně
ŽST	železniční stanice
žkm.	železniční kilometr

Obsah:

1.	Úvod	10
2.	Elektrochemická koroze bludnými proudy	11
2.1	Koroze.....	11
2.2	Korozní ztráty	11
2.2.1	Jednotlivé složky podílející se na celkových nákladech způsobených korozními vlivy .	11
2.2.2	Rozdělení druhů koroze	12
2.2.3	Mechanismus elektrochemické koroze.....	13
2.2.4	Zemní proudová pole.....	20
3.	Měření protikorozní ochrany	22
3.1	Postupy protikorozní ochrany	22
3.2	Prevence vzniku bludných proudů z drážních zařízení:.....	23
3.2.1	Prevence lze docílit.....	23
3.2.2	Postupy minimalizace rizik vzniku bludných proudů.....	23
3.3	Druhy metod protikorozní ochrany úložného zařízení.....	24
3.3.1	Pasivní protikorozní ochrana	24
3.3.2	Aktivní protikorozní ochrana.....	25
4.	Měření ve vybrané lokalitě.....	28
4.1	Teoretická část	28
4.1.1	Použité přístroje, pomůcky a vybavení.....	28
4.2	Praktická část	31
4.2.1	Předmět korozního měření a jeho rozsah.....	31
4.2.2	Rozsah korozního měření:	31
4.2.3	Použité měřicí přístroje a zařízení	31
4.2.4	Popis situace	32
4.2.5	Seznam měřicích bodů.....	34

4.2.6	Seznam dotčených plynovodů	35
4.2.7	Použité měřicí metody a dokumentace	36
4.2.8	Celkový přehled naměřených hodnot ze všech etap měření.....	37
5.	Vyhodnocení naměřených hodnot.....	39
5.1.	Potenciálová měření.....	39
5.2.	Časový výběr z celkové doby měření v MB 04 až MB 08	41
5.2.1	Záznam Korodat MB 04	41
5.2.2	Záznam Korodat MB 05	42
5.2.3	Záznam Korodat MB 06	43
5.2.4	Záznam Korodat MB 07	44
5.2.5	Záznam Korodat MB 08	45
6.	Doporučení a závěr:.....	46
6.1.	Doporučení k omezení vlivu bludných proudů.....	46
	Zdroje literatury:.....	47
	Seznam příloh:.....	48
	Seznam obrázků:	47
	Seznam tabulek:	47

1. Úvod

Tato práce je věnována problematice elektrochemické koroze úložných zařízení, jejím příčinám, důsledkům a dalším jevům, které jí provázejí.

První část práce se zabývá korozí samotnou, jejím vznikem, druhy, mechanismy a jevy jež jí provází. Pro všeobecný přehled, jsou zde popsány vybrané chemické reakce, polarizace, anodická a katodická koroze.

Druhá část se zaměřena na prevenci vzniku bludných proudů, a to pasivními a aktivními metodami protikorozní ochrany. Dále jsou zde zmíněny některé důležité součásti a zařízení vztahující se k dané problematice.

Třetí kapitola je rozčleněna do dvou částí. V teoretické části popisuje použité pomůcky, přístroje a vybavení. V praktické části popisuje celkovou situaci a následně se pak zabývá samotným měřením v terénu.

Poslední kapitola obsahuje vyhodnocení naměřených hodnot. Jsou zde zmíněna doporučení a postupy jak řešit zjištěné problémy.

2. Elektrochemická koroze bludnými proudy

2.1 Koroze

Vlivy okolí na kovové materiály za normální teploty jsou typu elektrochemické koroze či přímé oxidace. Vznik elektrochemické koroze je podmíněn přítomností elektrolytu. V běžném prostředí nastává jen v případě, když se korodující materiál dostane do styku s vodou, vzdušnou vlhkostí, půdní vlhkostí, vodní kondenzací apod. Při absenci tohoto faktoru nastává přímá chemická reakce, kde reaguje materiál se svým okolním prostředím. Oba tyto případy spojuje vznik oxidické vrstvy na povrchu korodujícího materiálu. V případě, že je tato vrstva porézní a nebo je rozrušována jinými vlivy, nastává intenzivní reakce mezi materiálem a vnějším prostředím do té doby, než je porušen celý korodující materiál. Pakliže oxidická vrstva není porézní a je celistvá, potom se reakce časem zastaví a vytvoří pouze jen povrchovou vrstvu, takzvanou patinu.

Korozi je napadána většina materiálů (kovy, slitiny kovů, keramika, silikáty, plasty a další).

2.2 Korozní ztráty

Ve státech s rozvinutým průmyslem mohou ztráty korozi dosáhnout 4 až 6 % HDP. Na území České republiky v roce 2013 představovaly ztráty způsobené korozními pochody škodu zhruba ve výši 150-230 miliard Kč, přičemž HDP za rok 2013 u nás činilo 3840 miliard Kč. Při využití nejmodernějších technologií by bylo možné tyto ztráty snížit až o 25%, což činí 40-60 miliard Kč.

2.2.1 Jednotlivé složky podílející se na celkových nákladech způsobených korozními vlivy

2.2.1.1 Investiční náklady

- ✓ Rekonstrukce stávajících objektů a zařízení.
- ✓ Záložní zařízení pro nouzový provoz.
- ✓ Zařízení protikorozi ochrany.
- ✓ Korozní přídavky (ve smyslu naddimenzování zařízení v rámci prevence poruch, vzniklých úbytkem materiálu, způsobeným korozi).
- ✓ Speciální postupy výroby.
- ✓ Nevhodně zvolené dimenzování zařízení.

2.2.1.2 Náklady na provoz

- ✓ Protikorozi ochrany.
- ✓ Údržba PKO.
- ✓ Opravy PKO.
- ✓ Údržba vlastního zařízení.
- ✓ Opravy vlastního zařízení.

- ✓ Snížení účinnosti vlastního zařízení vlivem vnějších vlivů.

2.2.1.3 Dodatečné náklady

- ✓ Tržní ztráty.
- ✓ Výzkum a vývoj.
- ✓ Pojištění majetku.
- ✓ Zmařená produkce.
- ✓ Snížení nebo ztráta kvality.
- ✓ Škody.
 - majetkové
 - ekologické
 - zdravotní

2.2.1.4 Zničení nebo poškození provozovaného zařízení korozními vlivy

- ✓ Po uplynutí doby životnosti.
- ✓ Před uplynutím doby životnosti.

2.2.2 Rozdělení druhů koroze

2.2.2.1 Dle mechanismu koroze

- chemická – degradace vzniká chemickou reakcí s vnějším prostředím. Probíhá ve vodných elektrolytech, v plynech, ve zplodinách hoření, apod. V případech, kdy reaguje kov s prostředím plynným nebo kapalným, je tato chemická reakce označována jako heterogenní.
- elektrochemická - degradace vzniká heterogenní elektrochemickou reakcí kde reaguje kov s elektrolytem, přičemž vzniká galvanický článek

2.2.2.2 Dle vizuálních parametrů koroze

- rovnoměrná – vzniká po celém povrchu materiálu
- nerovnoměrná – vzniká na různých místech, proniká do různých hloubek a šířek
 - ✓ důlková – častý vznik, například u uhlíkových ocelí, kde na relativně malé ploše proniká hluboko do napadeného materiálu.
 - ✓ mezikrystalická – tato koroze probíhá na rozhraní krystalů napadeného materiálu a poté proniká hluboko pod povrch. Napadenými materiály bývají zpravidla austenitické oceli, místem vzniku bývá tepelně ovlivněná oblast svaru.
 - ✓ transkrystalická – tento druh koroze je velmi nebezpečný, protože se projevuje vadami materiálu typu trhlin které procházejí krystaly materiálu. Iniciátorem může být vnitřní pnutí, nebo mechanické či dynamické namáhání. Rychlost růstu těchto vad je za nepříznivých podmínek velmi vysoká.
 - ✓ bodová – hliník, oceli.
 - ✓ selektivní – u válcovaných materiálů nebo u materiálů které se skládají z vrstev různých materiálů

- ✓ podpovrchová – probíhá v prostředí bohatém na plynný vodík nebo roztocích sirovodíku, může také vznikat při difuzi atomů vodíku.

2.2.2.3 Dle převažujících vnějších vlivů koroze

- a) únava materiálu - vytváření povrchových vad typu trhlin v materiálu
- b) napětí v materiálu
- c) vibrace
- d) kavitace

2.2.2.4 Dle působícího prostředí

- a) v atmosféře
- b) v půdě
- c) ve vodě
- d) v plynech
- e) atd.

2.2.3 Mechanismus elektrochemické koroze

Chemicky se mohou tvořit sloučeniny:

- Homopolárně – sloučeniny kovalentní - vnější společný elektronový obal dvou atomů tvoří 1- 4 elektrony z původních dvou atomů.
- Heteropolárně - sloučeniny elektrovalentní - vnější elektronový obal atomu přijímá vnější valenční elektrony jiného prvku.

Převážnou část chemických sloučenin lze zařadit do jedné z těchto dvou skupin.

Typickým příkladem heteropolárních sloučenin jsou kombinace prvků kovových s nekovovými.

Vnější elektrická vrstva jednoho atomu přijímá elektron prvku jiného. Tento atom dostává záporný elektrický náboj a druhý atom dostává kladný elektrický náboj.

- Kovové prvky odevzdávají při této reakci elektrony z vnější valenční vrstvy a dostávají kladný náboj – kationy, např. Na^+ , Cu^+ , Fe^{++} , Fe^{+++} .
- Nekovové prvky přijímají při této reakci elektrony do své valenční vrstvy a dostávají náboj záporný – aniony, např. Cl^- , SO_4^{--} , PO_4^{---} .

(Počet znamének udává množství kladných $^+$ nebo záporných $^-$ nábojů.)

Z původně neutrálních atomů vznikají elektricky nabití ionty. Krystaly takto vzniklých heteropolárních sloučenin jsou tedy vytvořeny z iontů, ne z atomů.

V roztocích kyselin, hydroxidů, solí a také ve vodě, probíhají soustavné reakce molekul a iontů, při nichž dochází ke slučování iontů na molekuly a zároveň rozkladu molekul na ionty.

Při neměnných podmínkách okolí nastane rovnovážný stav mezi počty molekul a iontů a jejich poměr je určen tzv. stupněm disociace. Je to poměr počtu molekul a iontů v dané sloučenině, jež se zvyšuje se snižující se koncentrací roztoku kyseliny, hydroxidu nebo soli.

Elektrický proud, jenž je veden kovovým vodičem, je způsoben pohybem volných elektronů ve vodiči. U elektrolytů vzniká procházející elektrický proud pohybem iontů, elektrolyty obsahují tedy takové heteropolární sloučeniny, u nichž v kapalném stavu nastává disociace. Tudíž, při průchodu elektrického proudu mezi elektrodami ponořenými do elektrolytu, nastává usměrněný pohyb iontů k elektrodám, kde ionty ztrácí elektrický náboj a přemění se buďto na atomy, nebo na radikály.

Tyto prvky se mohou:

- usadit na povrchu elektrod.
- při chemické reakci vytvořit novou sloučeninu na elektrodě.
- vyloučit ve formě plynu.

Elektrolyty se dělí do dvou skupin:

- ✓ **Bezvodé elektrolyty** (roztavené soli)
- ✓ **Vodné elektrolyty** (vodné roztoky kyselin, hydroxidů a solí)
 - Roztoky kyseliny solné, dusičné, sírové jsou silnými elektrolyty z důvodu disociace na ionty $H^{\circ} + Cl'$, $H^{\circ} + /NO_3 I'$, $H_2^{\circ} + /SO_4 I''$. Stupeň účinnosti kyselin závisí na velikosti koncentrace iontů vodíku, tyto hydroionty H° mají kladný náboj a reagují podobně, jako ionty kovů.
 - Roztoky solí KCl , Na_2SO_4 , $CuSO_4$ disociují na ionty $K^{\circ} + Cl'$, $Na^{\circ} + Cl'$, $Cu^{\circ\circ} + SO_4''$.
 - Roztoky hydroxidů KOH , $Na(OH)_2$ disociují na ionty $K^{\circ} + /OH I'$, $Na^{\circ} + /OH I'$. Účinnost závisí na velikosti koncentrace hydroxydových iontů $/OH I'$.

2.2.3.1 Polarizace

Při průchodu elektrického proudu mezi elektrodami ze stříbra, ponořenými v elektrolytu obsahující dusičnan stříbrný, dochází k vylučování iontů stříbra na obou elektrodách. Elektrolyt tímto ztrácí postupně svůj kladný náboj a nastává jeho elektrická negativita vůči elektrodám. V elektrolytu běžné koncentrace vzniká na elektrodách potenciál asi +0,79 V vůči vodíkové elektrodě. Pokud se obě elektrody spojí se zdrojem stejnosměrného napětí, sníží se elektrický potenciál na záporné elektrodě pod rovnovážnou mez a vyloučí se na ní z elektrolytu nové ionty stříbra. Na kladné elektrodě dochází ke zvýšení elektrického potenciálu a ta se počíná přeměňovat na ionty, které následně přechází do roztoku elektrolytu.

Připojení stejnosměrného napětí na elektrody způsobí:

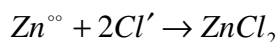
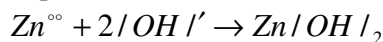
- ✓ na anodě rozpouštění kovu.
- ✓ na katodě vylučování kovu.

Může také nastat stav, kdy polarizace vzniká koncentrací sloučenin, které se vytváří při elektrolýze na elektrodách.

2.2.3.2 Anodická koroze

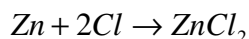
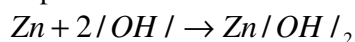
Připojíme-li elektrody, které jsou ponořeny do elektrolytu, ke zdroji stejnosměrného napětí nastane rozklad katody. Tento stav nazýváme anodickou korozí, kdy se ionty kovu obsažené v elektrolytu slučují s jinými aniony.

Například:



Při rozkladu anody dochází ke vzniku sloučeniny, která může být ionizovaná v elektrolytu. Například aniony $/ \text{OH} / '$ nebo Cl' jež byly vyloučeny na anodě, přišly o svůj elektrický náboj a v následné reakci se sloučily s materiálem anody.

Například:



Chemické sloučeniny vylučované na anodě, jsou buď v elektrolytu rozpustné, nebo nerozpustné. Povrch anody se potom pokrývá chemickou sloučeninou a v případě rozpustné látky se tato opět ionizuje a znovu přechází do roztoku elektrolytu.

Pokud vzniká na povrchu anody sloučenina rozpustná, následuje nerušené rozpouštění anody.

V případě, že se aniony slučují s kovem anody na nerozpustnou sloučeninu, může nastat stav, kdy se po jisté době rozklad anody postupně zpomalí nebo zcela zastaví.

Tento ochranný povlak se může vytvořit i v případě nepatrného množství anionů které vytváří tuto nerozpustnou sloučeninu. Když je tedy dosaženo velkého zpomalení či dokonce zastavení rozpouštění kovu anody nastává takzvaná pasivita. Pasivitu získávají materiály při anodické korozi snadno v roztocích s vysokou koncentrací iontů $/ \text{OH} / '$, například v roztoku hydroxidu sodného $\text{Na}(\text{OH})_2$ nebo hydroxidu draselného K OH .

Ochranné povlaky se u některých kovů vytváří i v případě, kdy na ně působí anodická koroze v neutrálním, nebo kyselém roztoku (například u hliníku).

2.2.3.3 Katodická koroze

Vloží-li se do roztoku elektrolytu dva kovy různých prvků vznikne mezi nimi elektrický potenciál. Na povrchu kovu s vyšší reaktivitou se vylučují záporně nabití ionty, které reagují s kovem na sloučeninu.

Druh vzniklé sloučeniny

- ✓ nerozpustná – vytváří souvislý povlak a intenzita elektrického proudu se postupně snižuje.
- ✓ rozpustná – vytvoření této vrstvy je podmínkou kontinuálního průtoku elektrického proudu, za současného vylučování vodíku na katodě. Je podmínkou pro průběh elektrochemické koroze.

Elektrochemická koroze může být podmíněna

- ✓ vylučováním vodíku.
- ✓ difuzí kyslíku.

Hmotnost korozního úbytku:

$$m = A \cdot Q = A \cdot I \cdot t \quad (\text{kg}; \text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}; \text{C}; \text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}; \text{A}; \text{s})$$

m - množství vyloučeného kovu

Q - el. náboj iontu

A - elektrochemický ekvivalent kovu
I - proud elektrolytického jevu
t - doba trvání elektrolytického jevu

[19] cit, s. 95

2.2.3.4 Protikorozní ochrana

Protikorozní ochrana se zaměřuje na prevenci koroze a snižování ztrát způsobených korozí. Základní příčinou korozního procesu je snaha přírody zvýšit neuspořádanost soustavy (dosáhnout co nejvyšší entropie), tj. navrátit kovy do jejich původního stavu v přírodě.

Podle způsobu provádění lze protikorozní techniku rozdělit na:

- ✓ použití korozně odolných materiálů zvolených podle korozního prostředí (např. legované oceli, neželezné kovy, plasty, pryžové směsi).
- ✓ ochranné povlaky, dočasná ochrana).
- ✓ konstrukční úpravy (např. zesílení stěn z uhlíkové oceli o korozní přídavky)
- ✓ úprava korozního prostředí (např. inhibitory).
- ✓ elektrochemické ochrany (anodická ochrana v chemickém průmyslu a katodická ochrana zařízení v půdě a ve vodách).

Katodická ochrana je antikorozní technika, při které se zpomalení nebo potlačení korozního pochodu dosahuje polarizací chráněného kovu posunem potenciálu v negativním směru, až se dosáhne potenciálu rovnováhy při takové koncentraci iontů, která je konvencí považována za kritérium prakticky nulové koroze.

Základním principem katodické ochrany je vytvoření elektrického obvodu napájeného stejnosměrným proudem, v němž je v korozním prostředí chráněný předmět katodou, přičemž korozní proces řídíme nebo ovládáme tím, že anodickou reakci přeneseme na pomocnou anodu (anodové uzemnění, galvanická anoda).

[27] cit, s. 21

2.2.3.5 Princip elektrochemické ochrany

Jde o to dosáhnout co největšího zpomalení, případně úplného zastavení korozní reakce na chráněném zařízení. Tohoto se dosahuje pomocí vhodné polarizace - změnou potenciálu chráněného zařízení. Tuto změnu potenciálu je možné dosáhnout pomocí katodické nebo anodické ochrany zařízení.

Ochranu oceli polarizací je teoreticky možné uskutečnit třemi způsoby, kterými je možné dosáhnout zpomalení rychlosti procesu anodického rozpouštění.

V oblasti imunity je možné dosáhnout nulové korozní rychlosti.

Nízké rychlosti lze dosáhnout v oblastech aktivity a pasivity.

Požadavkem je snížení rychlosti koroze v elektrolytu půdy na hodnoty menší než 10^{-2} mm ročně.

Hlavní reakce na katodicky chráněném ocelovém povrchu v neutrálním a alkalickém vodném prostředí:

- redukce kyslíku $\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- = 2OH^-$ alkalizace.

Při „přechránění“:

- redukce vody $2H_2O + 2e^- = 2H + 2OH^-$ alkalizace a vylučování vodíku.



Doprovodné chemické procesy v blízkosti chráněného povrchu

- ✓ přeměna hydrogenuhličitanů na uhličitany,
- ✓ vylučování nerozpustných sloučenin ($CaCO_3$ a $Mg(OH)_2$), polymerizace složek půdy (vznik geopolymerů).

Transportní procesy u chráněného povrchu

- ✓ konvekce (míchání) je v půdě a pod úsadami zanedbatelné,
- ✓ difuze je omezována inertními složkami půdy,
- ✓ migrace (pohyb iontů v elektrickém poli) mění složení katolytu – vzniká roztok NaOH resp. KOH

[24] cit, doplněk přednášek s. 146-147

Korozní odolnost kovů v elektrolytu je ovlivňována

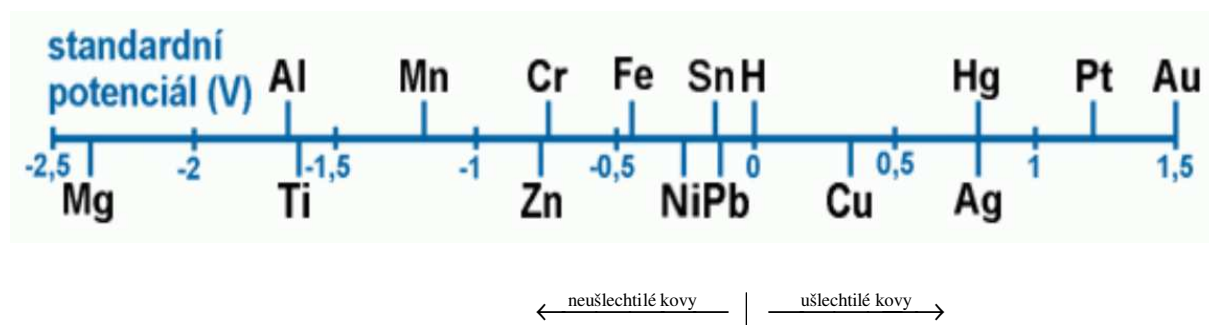
- ✓ ušlechtilostí kovů,
- ✓ pasivovatelností kovů,
- ✓ heterogenitou v korozním systému (primární, sekundární).

Základem koroze kovů v elektrolytech jsou elektrochemické přeměny.

Ušlechtilost kovů

Základní informací o stabilitě kovů ve vodném elektrolytu je řada standardních elektrodových potenciálů.

- ✓ kov je v rovnováze se svými rozpustnými korozními produkty (jedinou redukční reakcí je zpětné vylučování kovů),
- ✓ jedinou komplexotvornou látkou je voda.



Obr.1 Ušlechtilost kovů [24] cit, doplněk přednášek s. 40-41

Katodická ochrana

Principem je dosažení zpomalení anodické reakce, za současného posunutí potenciálu chráněného zařízení záporným směrem. Chráněný kov se tak stává korozně odolnějším.

Anodická ochrana

Principem je dosáhnout anodické pasivace kovu chráněného zařízení. Při použití této ochrany vzniká na povrchu chráněného materiálu – kovu pasivní stav. Korozní rychlost je, oproti běžnému koroznímu procesu, výrazně snížena. Využívá se hlavně pro materiály, které jdou snadno pasivovat.

Tab.1. Elektrochemické vlastnosti některých důležitých kovů [27] cit, s. 27

Prvek	Atomové číslo	Hustota ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Elektrochemický ekvivalent A ($\text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	Měrný odpor ρ při 20 °C ($\mu\Omega \cdot \text{m}$)	Standardní elektroodový potenciál při 25 °C	
					Reakce	(V)
Vápník	20	1540	6,54	0,0460	$\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2e$	-2,87
Hořík Mg	12	1740	3,98	0,0446	$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e$	-2,37
Hliník Al	13	2700	2,94	0,0280	$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e$	-1,66
Titan Ti	22	4500	-	0,5540	-	-
Niob Nb	41	8600	3,94	0,1510	$\text{Nb} \rightarrow \text{Nb}^{3+} + 3e$	-1,10
Zinek Zn	30	7100	10,68	0,0590	$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e$	-0,76
Chrom Cr	24	7190	8,5	0,1300	$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3e$	-0,74
Železo Fe	26	7860	9,12	0,1800 až	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e$	-0,44
			6,09	0,2300	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3e$	-0,036
Tantal Ta	73	16650	-	0,1250	-	-
Cín Sn	50	5810	-	1,1500	$\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2e$	-0,136
Olovo Pb	82	11340	33,8	0,208	$\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2e$	-0,126
Měď Cu	27	8900	10,38	0,0172 až	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e$	0,337
			20,85	0,0215	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{+} + e$	0,521
Stříbro Ag	47	10500	35,26	0,0155	$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^{+} + e$	0,799
Platina Pt	78	21450	15,91	0,0980	$\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2e$	1,200
Zlato Au	79	19320	21,46	0,0220	$\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{+} + e$	1,680
(Litina)		(7300)	-	(0,270 - 0,370)	-	-
Uhlík C	6	2250	-	0,420	-	-

Tab.2. Stupeň katodické ochrany v závislosti na posunu polarizačního potenciálu [27] cit, s. 61

Stupeň ochrany $\eta[\%]$	Posun potenciálu $\Delta U_{pol} [mV]$	$\frac{J_o}{J_{kot}}$	Hustota ochranného proudu $J_o [mA \cdot m^{-2}]$	$r_{pol} = \frac{\Delta U_{pol}}{J_o}$ $[\Omega \cdot m^2]$	Korozní rychlost po KAO $K' [mm \cdot a^{-1}]$
10	2,7	0,15	15	0,180	0,09
30	9,1	0,49	49	0,183	0,07
50	17,7	0,91	91	0,193	0,05
53,5	19,3	1,00	100	0,197	0,05
70	31	1,52	152	0,203	0,03
80	41	2,03	203	0,201	0,02
90	59	3,06	306	0,193	0,01
95	76	4,42	442	0,172	0,005
98	100	7,05	705	0,142	0,002
99	118	9,99	999	0,118	0,001
99,9	177	31,62	362	0,056	<0.001
99,99	236	100	10000	0,0236	<0.001
99,999	295	316	31600	0,0093	<0.001
99,9999	354	1000	100000	0,0035	<0.001
99,99999	413	3160	316000	0,0013	<0.001

Tab.3. Potenciál kovů a slitin v neutrálních půdách a ve sladkých vodách [27] cit, s. 29]

Kov / slitina	Potenciál samovolné koroze (V) při teplotě 25 °C proti referenční elektrodě	
	NHE (vodíkové)	$C_u / C_u SO_4$ (měděné)
Hořčík Mg – slitina Galvomag	-1,33 až 1,28	1,65 až -1,60
Zinek	-0,86 až -0,78	-1,18 až -1,10
Pozinkovaná ocel	-0,82	-1,14
Hliník a Al slitiny	-0,73 až -0,40	-1,05 až -0,72
Šedá litina	-0,46	-0,78
Uhlíková ocel	-0,43 až -0,18	-0,75 až -0,50
Čisté železo	-0,18	-0,50
Rezavá ocel	-0,18 až +0,52	-0,50 až +0,20
Olovo	-0,31 až -0,18	-0,63 až -0,50
Cín	-0,22	-0,54
Mosaz 60/40	-0,06	-0,38
Měď	+0,02 až +0,12	-0,30 až -0,20
Ocel v betonu	+0,12	-0,20
Fersilit (14% Si)	+0,12	-0,20
Okuje	+0,12	-0,20
Stříbro	+0,14	-0,18
Titan	+0,18	-0,14
Nerezavějící oceli: K→P	-0,10 až +0,20	-0,42 až -0,12
Grafit	+0,20	-0,12
Zlato	+0,24	-0,08
Koks	+0,62	+0,30

2.2.4 Zemní proudová pole

Jsou příčinou koroze úložných kovových zařízení. Mohou být buď přirozeného původu, nebo vznikají například průmyslovými vlivy, dopravou apod..

2.2.4.1 Přirozená zemní proudová pole

Jejich původ může být:

- ✓ elektrochemický,
- ✓ filtrační,
- ✓ difúzní,
- ✓ vytváření galvanických článků.

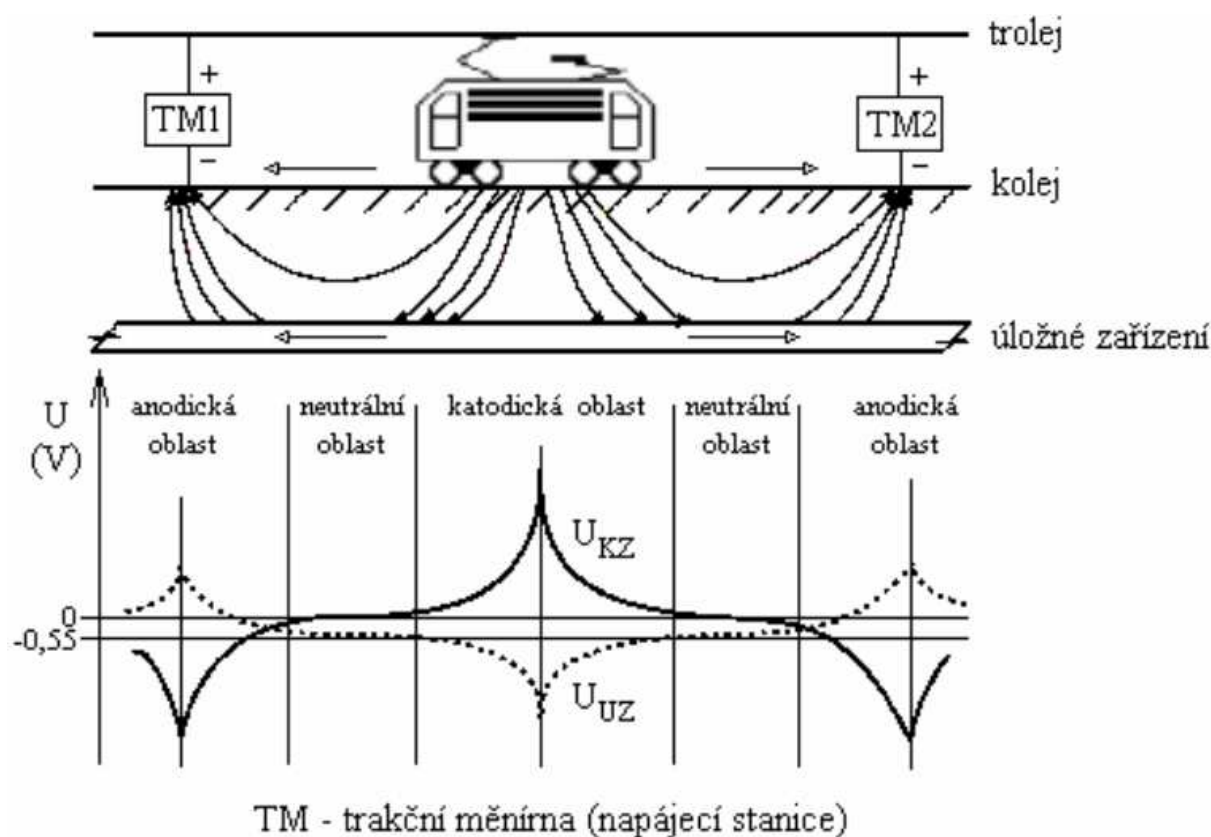
U elektrochemických polí může jejich hodnota dosáhnout až 50mV/km, u filtračních až 100 mV/km.

2.2.4.2 Uměle vytvářená zemní proudová pole

Ve většině případů se vytváří v okolí trakčních zařízení. Nejnebezpečnější jsou tzv. bludné proudy unikající ze zařízení napájených stejnosměrnými zdroji, což je u nás případ většiny trakčních zařízení.

Koroze stejnosměrnými bludnými proudy

Nejsilnější zemní proudová pole jsou tvořena bludnými proudy v okolí tratí elektrizovaných stejnosměrnou trakční proudovou soustavou. Zpětné trakční proudy procházejí kolejnicemi, které jsou uloženy na pražcích a štěrkovém loži a nejsou tudíž dokonale izolovány od země. Část zpětného proudu proto vniká do země a dosahuje poměrně velkých hodnot. Podle čistoty štěrkového lože a vzdálenosti paty kolejnic od kolejového lože, činí tato část 30 až 60 % celkové hodnoty. Stejnosměrný proud tekoucí zemí se uzavírá cestou nejmenšího odporu a prochází půdami s malým měrným odporem. Jestliže se v půdě nachází nedokonale izolované kovové zařízení (potrubí, kabel, nádrž, apod.), je proud tímto zařízením veden a vystupuje v blízkosti napájecí stanice (NS) do kolejnic, které jsou spojeny se sběrníci napájecí stanice. Vstupem trakčního proudu do NS se elektrický obvod uzavírá.



Obr.2 Schéma obvodu trakčního proudu u stejnosměrné trakční proudové soustavy a průběhy potenciálů „kolej - zem“ U_{KZ} a „úložné zařízení - zem“ U_{UZ} , [26] cit., s. 42

Na kovových úložných zařízeních se vytvářejí tři pásma:

- ✓ **katodické pásmo**, kde proud vstupuje z okolní půdy do úložného zařízení; není z hlediska elektrochemické koroze nebezpečné, ale vlivem vzniku vodíku na anodě dochází ke křehnutí materiálu a tím ke zmenšení jeho pevnosti (nebezpečné hlavně u plynovodu),
- ✓ **neutrální pásmo**, kde bludné proudy jen protékají; ani tato oblast není ohrožena elektrochemickou korozí,
- ✓ **anodické pásmo**, ve kterém vystupují bludné proudy z úložných zařízení do půdy; tato oblast je z hlediska elektrochemické koroze velmi nebezpečná, dochází k elektrolytickému rozpouštění kovu, které se projevuje bodovým proděravěním kovu, přičemž v místě poruchy je kov čistý, bez rzi.

[26] cit., s. 42

3. Měření protikorozi ochrany

Protikorozi ochrana se aplikuje z důvodů ekonomických úspor investic na výstavbu nových zařízení, prodloužení životnosti a v neposlední řadě ke zvýšení bezpečnosti a bezporuchovosti provozovaného zařízení.

3.1 Postupy protikorozi ochrany

- ✓ **volba materiálu**
 - kovový
 - nekovový
- ✓ **úprava prostředí**
 - destimulace
 - inhibitory
 - změna fyzikálních parametrů
- ✓ **elektrochemická ochrana**
 - katodická ochrana
 - anodická ochrana
 - ochrana před bludnými proudy
- ✓ **ochrana povrchu povlaky**
 - organické
 - nátěry
 - pryžové
 - polymerní
 - anorganické nekovové
 - konverzní
 - smalty
 - cementové
 - anorganické kovové
- ✓ **konstrukční úpravy**

3.2 Prevence vzniku bludných proudů z drážních zařízení

Nejúčinnější způsob jak zabránit, případně podstatně omezit vznik elektrochemické koroze bludnými proudy. Nelze opomenout, že se taktéž jedná o ekonomicky nejvýhodnější způsob, neboť ochrana za pomoci prevence je méně nákladná, než odstraňování důsledků působení koroze, případných poruch zařízení, ohrožení bezpečnosti apod.

3.2.1 Prevence lze docílit

Zvýšením hodnot přechodového odporu na rozhraní kolejového svršku a země. Proto je nutné dostatečně odizolovat kolej a minimalizovat tak vznik bludných proudů.

Dle vyhlášky vydané ministerstvem dopravy české republiky č.177/1995 Sb. je stanoveno, že maximální svodová vodivost **kolej – zem** může být nejvýše $1,5 S \cdot km^{-1}$. ČSN EN 50122-2 – určuje průměrné celkové hodnoty svodové vodivosti a potenciálu pro kolejové lože.

- ✓ **Otevřené kolejové lože**, kde je těleso koleje nad úrovní terénu
 - Svodová vodivost $G_{re} \leq 0,5[S \cdot km^{-1}]$
 - Potenciál koleje $U_{re} \leq 5[V]$
- ✓ **Zapuštěné kolejové lože**, kde je těleso koleje v rovině s okolním terénem
 - Svodová vodivost $G_{re} \leq 2,5[S \cdot km^{-1}]$
 - Potenciál koleje $U_{re} \leq 1[V]$

3.2.2 Postupy minimalizace rizik vzniku bludných proudů

- ✓ Dostatečné mezery mezi kolejí a šterkovým podkladem cca. 5 cm.
- ✓ Výměna nevyhovujících starých prážců za nové a jejich vzájemné odizolování od kolejnice (izolační vložky).
- ✓ Rekonstrukce starých tratí.
- ✓ Pravidelná údržba trati, která má mimo jiné zabránit usazování vodivých nánosů na izolaci, a to i u vedlejších, málo používaných kolejí (např. odstavné koleje v železničních stanicích).
- ✓ Instalace přepětových ochranných zařízení a zajištění jejich správné funkce u zařízení, která jsou pospojována s kolejí. Pospojováním se sleduje cíl tak, aby byla dosažena účinná činnost ochranného vedení trakce.

- ✓ Maximalizace admitance u kolejového vedení. Například spojování kolejnic svařováním, v místech dilatací propojovacími kabely, které mohou dosahovat průřezu až $70-120\text{mm}^2$, vzájemným propojováním kolejnic v pravidelných intervalech.
- ✓ Volba co nekratší trasy kabelů zpětného vedení a tím i snížení impedance vedení.
- ✓ Snížit proud trakce, zvýšením hladin napájecího napětí při zachování stejného trakčního výkonu. Tímto dojde ke snížení proudové zátěže v kolejovém vedení a následně ke snížení hodnot případných bludných proudů.
- ✓ Využívání rekuperace. V generátorickém režimu vracejí elektromotory trakčního vozidla proud zpět do sítě. Sníží se tím proudová zátěž v kolejích a zpětném vedení a dojde k omezení možnosti vniku bludného proudu do země.
- ✓ Modernizace a využívání moderních technologií.
- ✓ Určení nejvhodnějšího napájení trakčního vedení. Jednostranné, dvoustranné, čtyřstranné. Při jednostranném napájení je nejvyšší riziko vzniku bludných proudů, protože má nejdelší trasu toku vracejících se proudů. U dvoustranného napájení se proudy vracejí dvěma směry. Čtyřstranné napájení je možné u vícekolejných tratí, z hlediska ohrožení bludnými proudy je nejvýhodnější. Jeho přínosem je vzájemné propojení souběžných kolejí a následné zvýšení admitance zpětného vedení. Ekonomicky je však nákladnější.
- ✓ U zpětného vedení, které odvádí vracející se proud z kolejí zpět do trafostanice, musí být dosaženo určené velikosti admitance. Jedná se především o vhodné dimenzování průřezu vodičů, periodickou kontrolu jejich přechodového odporu a izolačního stavu.
- ✓ Štěrkový podklad musí být dostatečně propustný, aby nezadržoval atmosférické srážky.

3.3 Druhy metod protikoroze ochrany úložného zařízení

3.3.1 Pasivní protikoroze ochrana

Široké spektrum postupů směřujících ke znemožnění vodivého kontaktu povrchu chráněného zařízení s vnějším okolím. Základem je vhodná izolace, která se volí s ohledem na vnější prostředí a dále další opatření k zamezení vzniku poruch a prevenci rizik.

- ✓ **Vhodná volba umístění zařízení**
- ✓ **Ochrana k zamezení mechanického poškození**
 - Vhodný obsypový materiál ve výkopu (nejčastěji jemnozrný písek)
 - Geotextilie
 - Chráničky
 - Cementovo-textilní ochranné materiály
 - Cemtex
 - Ergelit
- ✓ **Průmyslové izolace**
 - Asfaltové izolace
 - Polyethylenové izolace
 - Polypropylenové izolace
 - Termosetové izolace

- Termoplastové izolace
- ✓ **Ochrana vnitřního povrchu potrubí epoxidovými pryskyřicemi** – provádí se u produktovodů vedoucích agresivní médium, které může způsobit korozní reakci
- ✓ **Doplňkové izolace**
 - Asfaltové izolace – hydroizolační pásy
 - Smršťovací plastová izolace
 - Páskové izolace
 - Bandážové izolace

3.3.2 Aktivní protikorozní ochrana

Postupy směřující k vytvoření umělých podmínek, kdy jsou korozní reakce aktivně ovlivňovány elektrochemicky, pomocí elektrického napětí a proudu.

3.3.2.1 Katodická ochrana

Tato metoda je založena na principu vytváření korozního článku, k čemuž dochází vlivem nehomogenity okolí (půdy) a kovu. V jedné části se vytvoří anoda a ve druhé katodická část. Na těchto místech zařízení potom probíhá elektrochemická reakce. Vzniká zde korozní potenciál a v konečném důsledku dochází ke koroznímu napadení.

Cílem je posunout potenciál chráněného zařízení tak, aby dosáhl hodnot $\leq -0,85V$ (měří se proti referenční elektrodě $Cu/CuSO_4$).

Ochrana pomocí obětovaných anod

Jedná se o elektrody z méně korozně odolných kovů, nebo jejich slitin a podmínkou pro jejich použití je, že jejich potenciál musí být více negativní, než u chráněného materiálu. Nejčastěji používaným materiálem je hořčík a jeho slitiny.

Ochrana pomocí usměrněného zdroje proudu

Napájení zajišťují stejnosměrné usměrňovače, které jsou umístěny ve stanicích řízené katodové ochrany – ŘSKAO.

Na anodu je přiváděno kladné napětí a na chráněnou část - katodu, napětí záporné. Na jmenovaných částech potom nastává elektrochemická reakce. Z anodické části proud vstupuje do země, prochází jí do chráněného zařízení a z něj nazpět do zdroje usměrněného proudu. Materiálem anody bývá většinou ocel, ale v některých případech může být i hořčíková, zinková, případně některé z jejich slitin. Volba místa uložení ocelové obětované anody je závislá na vodivosti půdy a volí se tak, aby odpor nepřesáhl $R \leq 2\Omega$, obvyklá vzdálenost je 150 – 600m od chráněného zařízení.

Je potřeba dosáhnout stavu, kdy bude degradace kovu zastavena, nebo alespoň snížena na přijatelnou mez. Velikost potenciálu pro ocel je -0,85V.

Ochrana pomocí elektrické drenáže

Drenáže se využívají zejména v anodických oblastech. Jejich funkcí je odvádět bludné proudy z úložného zařízení zpátky k jejich zdroji a zabránit tak přechodu proudu z chráněného zařízení zpět do půdy. Účinnost drenáží nezávisí na polaritě proudu.

U zařízení ČD a většiny tramvajové dopravy se vyskytuje záporná polarita kolejí. V tomto případě se anodické proudy vyskytují v okolí měníren. Umístění drenáže se proto volí ve směru toku bludného proudu, který se vrací do měnírny.

Výjimku tvoří tramvajová doprava v Brně a Ostravě, kde je polarita kladná. Anodická oblast je proměnlivá, v závislosti na pohybu tramvajové dopravy. Zde se tato problematika řeší soustavou drenáží, umístěných v blízkosti chráněného zařízení.

Konstruktivně nejrozšířenější jsou drenáže diodové, které jsou schopny pracovat s bludnými proudy o velikosti až stovek ampérů.

Ochrana pomocí elektrické saturáže

Jedná se o spojení ochrany drenáže a katodické ochrany. U této metody je střídavě spínán a vypínán zdroj katodické ochrany. Při zvýšených hodnotách bludných proudů zastává funkci drenáže. V okamžiku pokud je překročena přípustná mez potenciálu na chráněném zařízení, je spínán zdroj ochranného potenciálu a zařízení plní funkci katodové ochrany.

3.3.2.2 Součásti, doplňky a vybavení protikorozní ochrany

Jedná se o příslušenství nutné pro správný provoz, nastavení, regulaci, zvýšení bezpečnosti, hospodárnosti provozu a zároveň umožňující bezproblémové měření v různých místech chráněného zařízení.

Izolační spoj

Zařízení určené k elektrickému oddělení částí chráněného zařízení aniž by to narušilo jejich správnou funkci. Například u plynovodů se izolační spoj umísťuje na rozhraní plynovodu a regulační stanice. Je to z důvodů, aby se ochranný potenciál, bludné proudy, případně atmosférické přepětí nedostalo dovnitř regulační stanice, neovlivnilo její funkce, případně neohrozilo bezpečnost, neboť v těchto stanicích je riziko výbuchu plynu.

Chránička

Mechanická ochrana plynovodu používaná při průchodu pod dopravní infrastrukturou, mostech, případně při průchodu stavebními objekty. Jejím úkolem je zabránit mechanickému poškození, jak potrubí plynovodu, tak i jeho elektrické izolace a tím zajistit stálou izolační pevnost chráněného zařízení. Zde ovšem nastává paradox, protože samotná chránička může být zdrojem poruchy izolačního stavu chráněného zařízení. Je proto nutné zabránit vzájemnému dotyku obou částí pomocí izolačních segmentů. Dále je nutné prostor hermeticky uzavřít proti vnikající vodě, což se provádí gumovými pružnými izolačními manžetami, které zajistí možnost dilatace potrubí.

Referenční elektroda

Přenosná sonda:

Existuje několik typů elektrod, ale nejběžněji používaná je elektroda $Cu/CuSO_4$, tato je zejména používána pro měření u chráněných objektů, které jsou umístěny v půdě, nebo u zařízení uložených přímo ve vodě.

Při pokusech v laboratořích je hojně využívána kalomelová elektroda, jež obsahuje nasycený roztok chloridu draselného KCl .

V námořní dopravě a u zařízení uložených ve slané vodě je pro tyto účely využívána elektroda argento-chloridová $Ag/AgCl$.

Trvale instalovaná sonda:

Zde se jedná o elektrodu umístěnou v korozním prostředí, kde je umístěna po celou dobu své životnosti. Je žádoucí, aby měla co nejjednodušší konstrukci zajišťující co nejmenší poruchovost. Nejrozšířenějším typem těchto elektrod jsou zinkové elektrody. Zinek, jako jeden z mála, patří do skupiny kovů, které jsou pro tyto účely použitelné. Přednost jeho ještě zápornějšího potenciálu než je u oceli, jej činí vhodným materiálem pro tyto účely měření, kdy se na jeho povrchu vytváří anodické pochody. V plynárenství se těchto elektrod téměř výhradně využívá u všech stanic ŘSKAO.

Zařízení umožňující měření

Instalují se z důvodu bezproblémového měření potenciálu chráněného zařízení, chrániček, propojovacích objektů, izolačních spojů a všude tam, kde není možné přímo měřit na zařízení.

Zařízení umožňující vzájemné elektrické propojení s jinými objekty

Instalují se u objektů při křížení, souběhu, nebo z jiných důvodů, kdy je potřeba vyrovnat, či jinak regulovat jejich potenciál.

3.3.2.3 Kontrola a měření

Nedílnou součástí provozu stanic ŘSKAO a SKAO je jejich periodická kontrola. Kontroluje se především stav správné funkce zařízení, bezporuchovost, výkon, účinnost provozu. Součástí kontroly jsou měření, která se zaměřují na:

- ✓ Měření potenciálu
 - Korozního
 - Zapínacího
 - Vypínacího
 - Potenciálu po depolarizaci
- ✓ Měření proudu
 - Celkový proud na vstupu anody
 - Proud na jednotlivých segmentech anod
 - Proud v samostatných větvích zařízení
 - Proud na vstupu měřicí elektrody
- ✓ Měření přechodové impedance
 - Celková impedance na anodě
 - Impedance na jednotlivých segmentech anody
 - Na referenční elektrodě

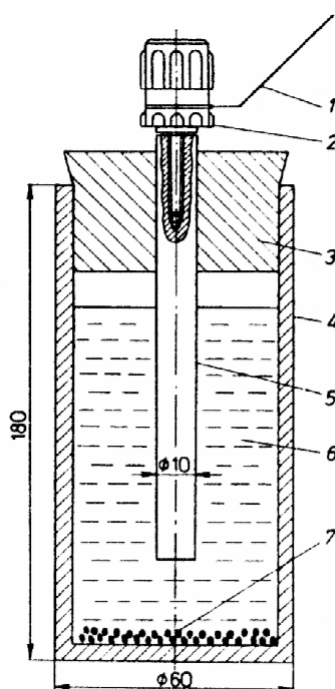
4. Měření ve vybrané lokalitě

4.1 Teoretická část

4.1.1 Použité přístroje, pomůcky a vybavení

4.1.1.1 Referenční elektroda $Cu / CuSO_4$

1. izolovaný vodič
2. přístrojová svorka
3. pryžová zátka
4. keramické pouzdro elektrody
5. Cu tyčová elektroda
6. nasycený roztok $CuSO_4$
7. pevné krystaly $CuSO_4$



Obr.3 Přenosná měděná referenční elektroda, [27] cit., s.172

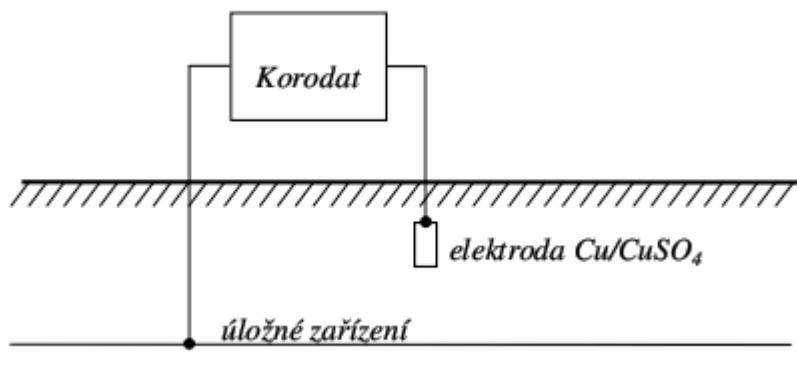
Pro měření elektrochemického potenciálu je potřeba vhodná referenční elektroda, a to taková, u které je znám její potenciál. Ten se při průchodu proudu nesmí měnit a musí být nezávislý na čase.

Při tomto terénním měření byla použita referenční elektroda $Cu / CuSO_4$. Skládá se z polopropustného pórovitého pouzdra z keramiky, zajišťujícího vodivý kontakt s okolím. Toto pouzdro je naplněno nasyceným roztokem síranu měďnatého. Je hermeticky uzavřeno pryžovou zátkou, kterou prochází měděná elektroda. Samotná elektroda je ukončena přístrojovou svorkou určenou pro připojení vodičů k měřicím přístrojům.

4.1.1.2 Elektronický datový záznamník Korodat

Jedná se o elektronický záznamník s 24 hodinovým cyklem měření. Tento přístroj je primárně určen pro měření proudů a potenciálů chráněných úložných zařízení, a to jak při korozním průzkumu, tak i při běžné periodické kontrole stavu chráněného zařízení.

Jeho velkým přínosem, oproti běžným měřicím přístrojům (voltmetrům), je komplexní záznam dat v čase, protože bludné proudy mají proměnlivé hodnoty. Díky tomuto přístroji je možné zaznamenávat výkyvy potenciálu, či průchod proudu na kontrolovaném zařízení v delším časovém horizontu.



Obr.4 Blokové schéma zapojení přístroje Korodat, [18] cit., s. 51

Pro zjištění korozního stavu plynovodu je nejčastější měřenou veličinou potenciál mezi potrubím a půdou a dále výstupní hodnoty proudu a napětí z řízených stanic katodické ochrany.

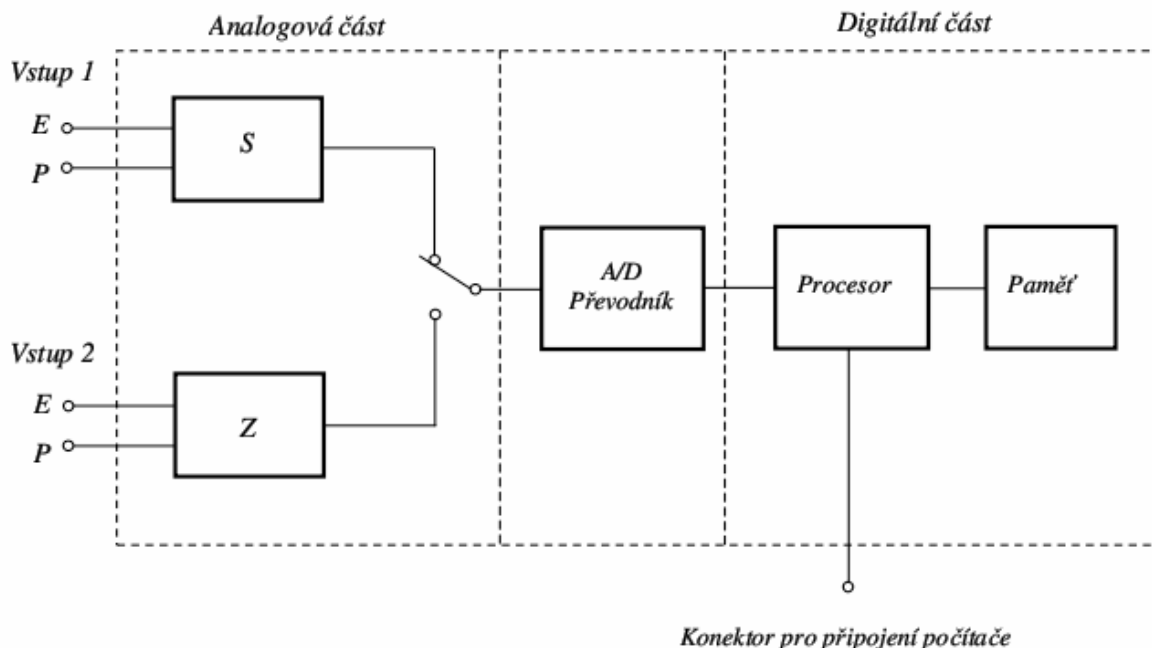
Při tomto měřicím postupu se jednotlivé komponenty zapojí, dle uvedeného schématu. Systém Korodat se propojí vodiči s měřeným zařízením a referenční elektrodou $Cu / CuSO_4$ a při spuštění zaznamenává měřené veličiny v časovém průběhu.

Naměřené hodnoty lze pomocí softwaru a PC vyhodnotit vizuálně pomocí grafů, nebo statisticky.

Z těchto pořízených záznamů lze získat množství informací vedoucích k určení možného zdroje bludných proudů, jejich intenzity, korozního stavu zařízení, pro vytvoření korozních map a v neposlední řadě pro vhodné nastavení stanic řízené katodové ochrany a další.

Složení měřicího systému:

- ✓ elektronický záznamník KD – umožňuje měřit ve 24 hodinovém režimu až 60 následných cyklů, je možné měřit a zaznamenávat
 - polarizační potenciál,
 - potenciál úložného zařízení proti zemi,
 - proud - díky vnějšímu bočníku,
 - proudová pole – pomocí přepočtu napětí mezi 2 elektrodami,
 - napětí - za pomoci vnějšího děliče
 - a samozřejmě výstupní hodnoty napětí a proudu ze stanic Katodové ochrany.
- ✓ servisní modul KM s LCD displejem sloužícím k zobrazení naměřených hodnot
- ✓ softwarové vybavení
- ✓ možnost propojení s PC, vizualizace a archivace naměřených dat



Obr.5 Blokové schéma vnitřního uspořádání přístroje Korodat, [18] cit., s. 50

Systém má analogovou a digitální část, viz blokové schéma.

Analogová část

- **Vstup 1** - určen pro měření potenciálu, měří se zařízení - proti referenční elektrodě ($Cu / CuSO_4$).
V bloku S se nachází
 - ✓ integrační člunek - měří střední hodnotu potenciálu,
 - ✓ dělič,
 - ✓ sledovač - vstupní impedance $10M\Omega$,
 - ✓ přepět'ová ochrana.
- **Vstup 2** - určen pro měření proudu jako běžný ampérmetr a měří se zařízení – proti pomocné elektrodě (ocel).
V bloku Z se nachází
 - ✓ bočník - pro měření proudů vyšších hodnot,
 - ✓ zesilovač s integračním článkem – zde se upravuje a zesiluje úbytek napětí z bočníku na použitelnou úroveň pro zpracování A/D převodníku, na vstup je přiváděna hodnota napětí odpovídající střední hodnotě naměřeného proudu,
 - ✓ měnič rozsahů,
 - ✓ ochrana.

Digitální část

Je propojena s analogovou pomocí 12 bitového A/D převodníku
 Obsahuje 8 bitový mikropočítač 80CL31, programová část je uložena v paměti EPROM a RAM, která je trvale napájena. Zaznamenaná data se ukládají do paměti RAM.

4.2 Praktická část

4.2.1 Předmět korozního měření a jeho rozsah

- ✓ Dodatečné korozní měření úložných zařízení po provedení stavby Elektrizace trati Zábřeh na Moravě - Šumperk, na vybraných MB - ze dne 02.08.2013
- ✓ pracovníkem RWE Ostrava – pracoviště Šumperk, byly některé MB uvedené v původním zadání objednávky změněny a vybrány MB na VTL plynovodech číslo 663 007 (Šumperk – Červenohorské sedlo) a 662 066 (Mohelnice - Šumperk Sever) vedenými kolem města Šumperk, které jsou nyní korozně ohroženy stejnosměrnými bludnými proudy
- ✓ další úložná zařízení v Šumperku za účelem vyhodnocení
- ✓ vypracování protokolu z měření s návrhem opatření.

4.2.2 Rozsah korozního měření:

- ✓ měření potenciálů úložných zařízení (referenční elektroda Cu/CuSO₄) dle ČSN EN 13509
- ✓ měření potenciálů trakční koleje (referenční elektroda Cu/CuSO₄) dle ČSN EN 13509
- ✓ vyhodnocení naměřených hodnot ve vztahu k platným ČSN.

Při měření nebyly porušeny bezpečnostní závěry (plomby) a měření bylo provedeno se souhlasem objednatele předmětu korozního měření.

4.2.3 Použité měřicí přístroje a zařízení

Měřicí přístroje použité při měření byly ověřeny (kalibrovány) podle Metrologického řádu, v souladu s požadavky zákona 119/2000 Sb., (novelizovaný zákon 505/1990 Sb) ve znění dalších předpisů.

Tab.4. Použité měřicí přístroje a zařízení

1.	Záznamník KORODAT-5, v. č. 2/2001.
2.	Záznamník KORODAT-5, v. č. 3/2001.
3.	Záznamník KORODAT-5, v. č. 4/2001.
4.	Záznamník KORODAT-5, v. č. 21/2006.
5.	Záznamník KORODAT 5, v. č. 22/2006.
6.	Záznamník KORODAT-5, v. č. 23/ 2006.
7.	Záznamník KORODAT-5, v. č. 24/ 2006.
8.	Záznamník KORODAT-5, v. č. 25 /2006.
9.	Záznamník KORODAT-5, v. č. 26/2006.
10.	APPA 109 N - Digitální multimetr – v. č. 63601071.
11.	Teplotní čidlo (Metex) – v. č. 15489628.

4.2.4 Popis situace

V rámci modernizace železničních tratí v majetku ČD, bylo rozhodnuto i o modernizaci železničního koridoru na trase Zábřeh na Moravě – Šumperk. Tato modernizace a její současná elektrifikace byla dokončena v roce 2009.

Jedná se o jednokolejnou železniční trať, která je v úseku Zábřeh na Moravě – Šumperk napájena stejnosměrnou trakční proudovou soustavou 3 kV.

Po ukončení rekonstrukce a následném zahájení trakčního provozu na této železniční trati, byl zjištěn výskyt bludných proudů na liniovém zařízení RWE, jež se nalézají v blízkém okolí. Jako první byly bludné proudy detekovány na vysokotlakém plynovodu, který je chráněn aktivní protikorozi ochranou a v periodických cyklech je proto kontrolován. Do výše uvedeného data nebyly takto vysoké hodnoty bludných proudů zaznamenány.

Z důvodu výskytu bludných proudů bylo proto rozhodnuto o provedení korozního měření a jeho následnou realizací byla pověřena firma KPTECH Ostrava. Tento průzkum byl celkem rozsáhlý a skládal se ze tří etap. První částí byl korozní průzkum okolí v úseku železniční tratě ČD Zábřeh na Moravě – Šumperk, druhou částí průzkumu bylo zjištění situace na plynovodech místních sítí v Šumperku, třetí část byla zaměřena na kontrolu stavu protikorozi ochrany vodovodních sítí v Šumperku.

Měřením byla zjištěna nevyhovující situace na dotčených zařízeních. Na základě těchto zjištění byla přijata opatření zvyšující frekvenci periodických kontrol stavu zařízení, měření, navýšení ochranného potenciálu atd.

Námi provedené dodatečné korozní měření úložných zařízení navazuje na tyto předchozí měření a je navíc ještě rozšířené o měření na dálkových plynovodech vysokého tlaku.

Ve spolupráci s pracovníky RWE a.s., z provozní oblasti Šumperk a se zaměstnanci Technické ústředny ČD z Olomouce, kteří mají dotčená zařízení ve své kompetenci, byla proto vytipována místa vhodná pro tyto měření.

Z důvodů rozsáhlosti a časové náročnosti byla tato měření rozvržena do tří etap. První etapa měření se uskutečnila ve dnech 18. a 19. května, druhá 6. a 7. června a třetí 10. června 2013.

4.2.4.1 První etapa měření

- ✓ PEN a uzemnění v TNS Šumperk/referenční elektroda.
- ✓ PEN v KS3, železniční stanice Postřelmov/referenční elektroda.
- ✓ Kolej v železniční stanici Postřelmov/referenční elektroda.
- ✓ Č.pl. 662066 (Mohelnice - Šumperk Sever), trasový uzávěr VTL plynovodu, žkm. 46,65 – Zábřeh na Moravě - Šumperk / referenční elektroda.
- ✓ Č.pl. 663007 (Šumperk - Červenohorské sedlo), č.b. 62 - VTL, Šumperk-Temenice - ul. Finská/referenční elektroda.
- ✓ Č.pl. 662066 (Mohelnice - Šumperk Sever), č.b. 65 - VTL/referenční elektroda.
- ✓ Č.pl. 662066 (Mohelnice - Šumperk Sever), č.b.121 - VTL, žkm. 41,5-Šumperk - Uničov/referenční elektroda.
- ✓ Trakční kolej, žkm. 46,65 - Šumperk/referenční elektroda.

4.2.4.2 Druhá etapa měření

- ✓ Č.pl. 663007 (Šumperk – Červenohorské sedlo), č.b. 83 - VTL, Šumperk-Temenice, Finská (nad sídlištěm)/referenční elektroda.
- ✓ Č.pl. 663007 (Šumperk – Červenohorské sedlo), č.b.40 - VTL, Šumperk-Temenice /referenční elektroda.
- ✓ Trakční kolej, žkm.46,65 - Šumperk (u železničního přejezdu) /referenční elektroda.
- ✓ SpS Zábřeh - hromosvod č.1, žkm 39,3 /referenční elektroda.
- ✓ Vodovod, žkm 1,15 /referenční elektroda.
- ✓ Trakční kolej, km 39,3 (trať Zábřeh na Moravě - Česká Třebová)/referenční elektroda.

Měření na regulačních stanicích (VTL/STL) v Šumperku a okolí

- ✓ Šumperk 10 RS VTL / ref.elektroda.
- ✓ Šumperk 10 RS STL / ref.elektroda.
- ✓ RS 36013 odbočka Pramet STL / ref.elektroda.
- ✓ RS Nový Malín STL / ref.elektroda.
- ✓ Finská VTL / ref.elektroda.

4.2.4.3 Třetí etapa měření

Měření na úložných zařízeních v okolí ŽST Šumperk

- ✓ PEN + uzemnění na EPZ v ŽST Šumperk.
- ✓ PEN + uzemnění, ul.Lidická, č.p. 75/1312 v Šumperku (ve vzdálenosti 160m od železničního přejezdu silnice Šumperk – Uničov).
- ✓ PEN + uzemnění - kabelová skříň (KS) na křižovatce ulic 28. října a M.R.Štefánika (ve vzdálenosti 180 m od elektrifikovaných kolejí ŽST), v blízkosti supermarketu Lidl a čerpací stanice Shell.
- ✓ Trakční kolej v ŽST Šumperk – 4.měření.

V železničním traťovém úseku Bludov – Šumperk se trasa vysokotlakého plynovodu vedoucím od Zábřehu na Moravě dělí v žkm 46.65 do dvou větví obcházející město Šumperk. Za Šumperkem u obce Vikýřovice se tyto trasy opět spojují a vedou směrem na Jeseník přes Červenohorské sedlo.

Plynovod VTL je ve sledovaném úseku katodicky chráněn třemi stanicemi protikorozní ochrany. Jsou to SKAO Bludov nalézající se v těsné blízkosti železniční stanice Bludov a v oblasti Šumperka to je SKAO Vikýřovice a SKAO Temenice. Drenáž bludných proudů v této oblasti není instalována.

Napojení středotlakých plynovodů STL je provedeno v regulačních stanicích VTL/STL přes izolační příruby. Byla provedena kontrola izolačního stavu těchto přírub v regulačních stanicích na Šumpersku. Závady shledány nebyly.

Dodatečné korozní měření jsme rozšířili o měření na úložných zařízeních (PEN, zemniče, NTL plynovody) v blízkosti elektrizovaných kolejí v železniční stanici Šumperk a to ve vzdálenosti od 200 m od těchto kolejí.

Ve všech dotčených případech se jedná o liniová úložná zařízení, která mohou bludné proudy převádět i do míst značně vzdálených mimo tento traťový úsek.

K ukolejnění trakčních stožárů a zařízení v nejbližším okolí MM jsou použity průrazky s opakovatelnou funkcí podle normy ČSN 34 1500.

Intenzita provozu trakčních jednotek v předmětném traťovém úseku je střední.

4.2.4.4 Podmínky měření

Dne 18.5. a 19.5.2013

- ✓ Průměrná teplota vzduchu: **+24°C**
- ✓ Půdní podmínky: **mokro**
- ✓ Hutota provozu na elektrifikované trati ČD: **běžné dopravní podmínky**

Dne 6.6 – 7.6.2013

- ✓ Průměrná teplota vzduchu: **+15°C**
- ✓ Půdní podmínky: **vlhko až mokro**
- ✓ Hutota provozu na elektrifikované trati ČD: **běžné dopravní podmínky**

Dne 10.6.2013

- ✓ Průměrná teplota vzduchu: **+19°C**
- ✓ Půdní podmínky: **vlhko**
- ✓ Hutota provozu na elektrifikované trati ČD: **běžné dopravní podmínky**

4.2.5 Seznam měřicích bodů

4.2.5.1 První etapa

Tab.5. Seznam měřicích míst. Realizováno dne 18.5-19.5.2013 -VTL a TNS Šumperk

Číslo MB	Identifikace MB	Provedená měření
01	PEN a uzemnění v TNS Šumperk (18.5.2013)	potenciál
02	PEN v KS3, žst. Postřelmov (18.5.2013)	potenciál
03	Kolej v žst. Postřelmov (18.5.2013)	potenciál
04	Č.pl. 662066, trasový uzávěr, žkm.46,65-Šumperk (19.5.2013)	potenciál
05	Č.pl. 663007, č.b. 62-VTL, Šumperk-Temenice-ul.Finská-na sídlišti (19.5.2013)	potenciál
06	Č.pl. 662066, č.b. 65-VTL(19.5.2013) u silnice Šumperk - Třemešek	potenciál
07	Č.pl. 662066, č.b.121-VTL, žkm. 41,5-Šumperk-Uničov(19.5.2013)	potenciál
08	Trakční kolej, žkm.46,65_ Zábřeh - Šumperk (u přejezdu)(19.5.2013)	potenciál

..

4.2.5.2 Druhá etapa

Tab.6. Seznam měřicích míst. Realizováno dne 6.6.2013– VTL a TNS Zábřeh na Moravě

Číslo MB	Identifikace MB	Provedená měření
09	Č.pl. 663007, č.b. 83-VTL, Šumperk-Temenice, Finská (nad sídlištěm) (6.9.2010)	potenciál
10	Č.pl. 663007, č.b.40-VTL, Šumperk-Temenice (na druhou stranu od sídliště směrem k MB 04 (6.6.2013)	potenciál
11	Trakční kolej, žkm.46,65_ Zábřeh - Šumperk (u přejezdu)(6.6.2013)	potenciál
12	SpS Zábřeh – hromosvod č.1, žkm 39,3 (6.6.2013)	potenciál
13	Vodovod, žkm 1,15 Zábřeh-Šumperk	potenciál
14	Trakční kolej, km 39,3 (trať Zábřeh-Česká Třebová) (6.6.2013)	potenciál

Tab.7. Seznam měřících míst. Realizováno dne 7.6.2013 – Regulační stanice VTL/STL

Číslo MB	Identifikace MB	Provedená Měření
15/1	RS 10 Šumperk u Krematoria v blízkosti MB04, měřen VTL	Potenciál
15/2	RS 10 Šumperk u Krematoria v blízkosti MB04, měřen STL	Potenciál
16	RS 36013 odbočka Pramet, měřen STL	Potenciál
17	RS Nový Malín, měřen STL	Potenciál
18	Č.pl. 663007, č.b. 62-VTL, Šumperk-Temenice-ul.Finská–nad sídlištěm viz též měření dne 19.5.2013 – MB05	Potenciál

4.2.5.3 Třetí etapa

Tab.8. Seznam měřících míst. Realizováno dne 10.6.2013 – Úložná zařízení v blízkosti kolejiště ŽST Šumperk

Číslo MB	Identifikace MB	Provedená Měření
19	ŽST Šumperk – PEN+uzemnění na EPZ	Potenciál
20	Šumperk, KS - PEN+uzemnění na ul. Lidická, č.p. 75/1312 cca 160 m od žel.přejezdu	Potenciál
21	Šumperk, KS - PEN+uzemnění na křižovatce ul. 28.října a M.R.Štefánika v blízkosti Lidlu a ČS Schell, cca 180 m od kolejí ŽST	Potenciál
22	Trakční kolej v ŽST Šumperk	Potenciál

4.2.6 Seznam dotčených plynovodů

Tab.9. Stáří dotčených měřených plynovodů

Číslo plynovodu	Trasa plynovodu VTL	Rok výstavby
663 007	Šumperk – Červenohorské sedlo	1974
662 066	Mohelnice – Šumperk sever	1988
663 005	Zábřeh na Moravě - Šumperk	1962
663 006	Zábřeh na Moravě - Šumperk	1973

4.2.7 Použité měřicí metody a dokumentace

4.2.7.1 Použité měřicí metody

V MM byla použita elektroda Cu/CuSO₄ dle ČSN EN 13509. Číselné hodnoty byly měřeny a zaznamenány záznamníky KORODAT. Zaznamenané hodnoty pak byly zpracovány a vyhodnoceny na počítači pomocí programů systému KORODAT.

Korozní měření a výpočty odpovídají příslušným níže uvedeným ČSN.

4.2.7.2 Zdánlivý měrný odpor půdy

Toto měření je potřebné pro výpočet hustoty bludných proudů v půdě, v cizím proudovém poli a k určení agresivity půdního prostředí. Měřeno dle ČSN 03 8363 Wennerovou metodou s použitím čtyř elektrod zabodnutých do země v jedné přímce. Měření bylo prováděno do hloubky 1,6 m s měřicím přístrojem PU 193.

Měření provedeno ve třech vytipovaných místech vzhledem k úložným zařízením.

4.2.7.3 Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi

Měření provedeno dle ČSN 03 8365 na základě úbytku napětí mezi dvěma nepolarizovanými elektrodami Cu/CuSO₄, umístěných ve dvou na sobě kolmých směrech vzhledem ke světovým stranám vzdálenými od sebe v MB-A 5m, v MB-B 5m a v MB C 5m ve směru S-J a V-Z.

Výsledná hustota proudů v půdě, v cizím proudovém poli je zařazena do příslušného stupně základních ochranných opatření pro omezení vlivu bludných proudů a její hodnota je uvedena v tabulce.

Elektrické proudová pole:

- ✓ agresivita prostředí z výsledné hustoty bludných proudů v půdě, v cizím proudovém poli, je zařazena dle ČSN 03 8375, tabulka 1 do stupně:
 - III. zvýšená pro MB A
 - III. zvýšená pro MB B
 - IV. velmi vysoká pro MB C
- ✓ dle ČSN 03 8365 se jedná o střední bludné proudy pro MB A, MB B i MB C
- ✓ výsledný vektor proudů v půdě v cizím proudovém poli a rozložení naměřených hodnot v jednotlivých kvadrantech je v grafech, které jsou v příloze.

Měření elektrických proudových polí bylo provedeno v těchto místech železničních trasových kilometrů:

- žkm. 56,7
- žkm. 62,7
- žkm. 66,4

4.2.7.4 Použitá dokumentace

Tab.10. Použitá dokumentace

ČSN EN 13509:04 - Měřicí postupy v katodické ochraně.
ČSN EN 12954:2001 - Katodická ochrana kovových zařízení uložených v půdě nebo vodě -Všeobecné zásady a aplikace na potrubí
ČSN 03 8374 - Zásady ochrany podzemních kovových zařízení
ČSN 03 8375 - Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi
ČSN EN 50162:2004 - Ochrana před korozí bludnými proudy ze stejnosměrných proudových soustav
ČSN 34 1500 - Elektrotechnické předpisy – předpisy pro trakční zařízení
ČSN EN 50122-1 - Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení. Část 1: Ochranná opatření vztahující se na elektrickou bezpečnost a uzemnění

4.2.8 Celkový přehled naměřených hodnot ze všech etap měření

Tab.11. Proudová pole

V blízkosti MB	Měrný odpor půdy (Ωm)	Výsledná hustota proudů v půdě, v cizím proudovém poli ($\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$)	Agresivita prostředí dle ČSN 03 8375
A	60	$6,073 \times 10^{-5}$	III. zvýšená
B	58,5	$2,955 \times 10^{-5}$	III. zvýšená
C	28	$1,117 \times 10^{-4}$	IV. velmi vysoká

Tab.12. Tabulka naměřených hodnot z celkové doby měření

MB	identifikace MB	Průměrná hodnota potenciálu (V)	Potenciál min. (V)	Potenciál max. (V)
01	PEN a uzemnění v TNS Šumperk	-1.08	-1.65	-0.68
02	PEN v KS3, žst. Postřelmov	-0.82	-0.93	-0.20
03	Kolej v žst. Postřelmov (18.5.)	-1.56	-12.1	51.8
04	Č.pl. 662066, trasový uzávěr, žkm. 46,65 - Šumperk	-0.21	-1.72	0.54
05	Č.pl. 663007, č.b. 62 - VTL, Šumperk -Temenice, ul.Finská	0.70	-2.27	3.53
06	Č.pl. 662066, č.b. 65 - VTL	-0.32	-2.17	1.32
07	Č.pl. 662066, č.b.121 - VTL, žkm. 41,5 - Šumperk- Uničov	-2.00	-2.74	-1.07
08	Trakční kolej, žkm. 46,65 - Šumperk	-14.2	-30.5	58.8
09	Č.pl. 663007, č.b. 83 - VTL, Šumperk - Temenice, Finská (nad sídlištěm)	-1.40	-2.94	0.94
10	Č.pl. 663007, č.b.40 - VTL, Šumperk - Temenice (na druhou stranu od sídliště směrem k trasovému uzávěru)	0.02	-1.87	2.86
11	Trakční kolej, žkm. 46,65 - Šumperk (u železničního přejezdu)	-9.57	-28.1	60.3
12	SpS Zábřeh – hromosvod č.1, žkm 39,3	-1.21	-7.63	1.70
13	Vodovod, žkm 1,15 (Zábřeh na Moravě - Šumperk)	-0.54	-0.69	-0.36
14	Trakční kolej, km 39,3 (trať Zábřeh na Moravě -Česká Třebová)	0.88	-4.05	11.4
15/1	Šumperk 10 RS VTL	-1.37	-5.02	-0.07
15/2	Šumperk 10 RS STL	-0.41	-0.80	0.74
16	RS 36013 odbočka Pramet STL	-0.19	-1.24	2.48
17	RS Nový Malín STL	-0,62	-0,96	-0,51
18	Finská VTL	-1.32	-1.99	-1.12
19	PEN + uzemnění na EPZ v ŽST Šumperk	-0.54	-0.62	-0.49
20	PEN + uzemnění, ul.Lidická, č.p. 75/1312	-0.01	-0.97	0.81
21	PEN + uzemnění - kabelová skříň (KS) na křižovatce ulic 28. října a M.R.Štefánika (ve vzdálenosti 180 m od elektrifikovaných kolejí ŽST), v blízkosti supermarketu Lidl a čerpací stanice Shell	-0.85	-1.33	-0.34
22	Trakční kolej v ŽST Šumperk	-18.6	-55.7	25.5

5. Vyhodnocení naměřených hodnot

Chráněná zařízení by měla ideálně mít potenciál $E_{\text{potenciálu}} = -0,85V$ a zápornější. Udržení zápornějšího potenciálu je však spojeno s vyššími náklady na provoz stanic SKAO a navíc v případě potenciálu $E_{\text{potenciálu}} \ll -0,85V$ může docházet k vylučování vodíku v oceli chráněného zařízení a tím ke křehnutí materiálu.

Při kladnějších hodnotách polarizačního potenciálu než je $-0,85V$ se považuje zařízení chráněné nedokonale. Bližší technické údaje viz normy [3], [4], [9]

Měřením ve sledované oblasti bylo prokázáno, že sledovaná oblast v lokalitě Šumperk je zasažena stejnosměrnými bludnými proudy.

5.1. Potenciálová měření

Pro větší přehlednost měření byl pro každý měřicí bod vytvořen průběžný časosběrný grafický záznam a pro vybraná kritická místa ještě detailní výřez pro větší přehlednost měření. Jedná se zejména o sledované vysokotlaké plynovody.

Pro lepší názornost byly vytvořeny, pro vybraná měření, detailní časové výřezy se stejným časovým úsekem, aby bylo možné přehledně sledovat kolísání potenciálů na sledovaném zařízení.

Zejména byly sledovány plynovody VTL Šumperk – Červenohorské sedlo a Mohelnice – Šumperk sever. Z celkového počtu osmi měřících bodů měřených na těchto vysokotlakých plynovodech bylo sedm z nich v anodické oblasti a jeden měřicí bod v katodické oblasti.

U těchto a některých dalších měřících míst nebylo z technických důvodů možné, provést měření ve 24 hodinovém cyklu. Hrozilo zde riziko zcizení nebo poškození měřícího zařízení a pomůcek. Avšak i tato zkrácená měření jsou jasná a průkazná.

Anodických hodnot bylo dosaženo na těchto měřících místech :

- ✓ měřicí bod č.4 - zde byly naměřeny hodnoty nedosahující limitní hodnoty $-0,85V$, na tomto měřícím bodu je většinou nedostatečný ochranný potenciál, jen v krátkém časovém úseku přesáhl polarizační potenciál limitní hodnoty, jak je dobře patrné z detailního výřezu zobrazení naměřených hodnot. V průměru potenciál dosahoval hodnot $-0,21V$, minimální hodnota napětí dosáhla $-1,72V$ a maximální hodnota byla $+0,54V$. V tomto časovém úseku bylo toto místo chráněno jen z 1,5%, ve zbylých 98,5% nebyl v tomto místě plynovod chráněn.
- ✓ měřicí bod č.5 - nevyhovující situace, limitní hodnota $-0,85V$ zde byla překročena jen ve velmi krátkém časovém úseku. Na tomto měřeném místě bylo v průměru dosaženo hodnoty $+0,81V$, minimální hodnota $-1,72V$, maximální hodnota $+3,53V$. Nechráněno 99,3%, chráněno 0,7%.
- ✓ měřicí bod č.6 - hodnoty polarizačního potenciálu kolísají v kladném i záporném spektru. V tomto místě a čase měření byl plynovod chráněn jen z 5,4%, zbylých 94,6% nechráněno. Průměrná hodnota potenciálu se pohybovala na hranici $-0,24V$, v maximu $+1,32V$ a minimální hodnota dosáhla $-1,86V$.

- ✓ měřicí bod č.9 - v tomto místě je zařízení chráněno z 91,8%, nedostatečný potenciál se vyskytuje jen v 8,2%. V průměru je zde dosaženo hodnoty napětí -1,36V, minimální hodnota je na úrovni -2,51V a v maximu +0,26V. Přestože je zde zařízení ve velké míře chráněno a anodických hodnot je dosaženo v malé míře, jeví se situace jako nevyhovující.
- ✓ měřicí bod č.10 - nevyhovující situace, v době měření bylo toto místo chráněno jen v 2,3%, v ostatním čase tj. v 97,7% byl polarizační potenciál pod limitní hodnotou. Průměrná hodnota napětí se pohybovala na hladině +0,01V, minimální hodnota dosáhla -1,42V, maximální hodnota kladného napětí dosáhla ve špičce +2,02V.
- ✓ měřicí bod č.15 – opět anodický průběh potenciálu, limitní hodnoty -0,85V nebylo dosaženo. Průměrná hodnota dosáhla hranice -0,41V, minimální hodnota jen -0,80V a maximum dosáhlo hodnoty +0,74V.
- ✓ měřicí bod č.16 – nevyhovující ochrana, v tomto čase bylo místo chráněno jen v 6,6% a nechráněno v 93,4%. Minimální hodnota dosáhla -1,24V, v průměru se hodnoty pohybovaly na hranici -0,19V. Opět se zde vyskytly špičky kladného napětí dosahující hodnoty až 2,48V.

Chráněno

- ✓ měřicí bod č.7 – plynovod je v tomto místě plně chráněn na 100,0%. Průměrná hodnota ochranného potenciálu se pohybuje na hladině -2,00V, v maximu dosahuje potenciál -1,07V a minimální hodnoty dosahují až -2,74V.

U ostatních úložných zařízení (plynovody STL, vodovod, zemniče, PEN), byl naměřen anodický charakter v MB 12, 20, 21 z celkového počtu osmi MB.

Dle Korozního průzkumu před elektrizací tratě, provedeném KPTECH Ostrava v 5-6/2009 na plynovodech VTL č. 663 005 a č. 663 006, nebylo anodických hodnot dosaženo.

Předmětem tohoto doplňkového korozního měření, ale byly VTL plynovody číslo 663007 a 662066, které nebyly předmětem Korozního průzkumu KPTECH. Dle sdělení RWE – závod Šumperk, ke koroznímu ohrožení těchto VTL plynovodů došlo až po zahájení el. provozu na trati Zábřeh na Moravě – Šumperk.

Měřením bylo zjištěno, že korozními vlivy jsou dotčena i úložná zařízení v blízkosti ŽST Šumperk, kde se nacházejí mj. i čerpací stanice pohonných hmot. Tato měření ale nejsou reprezentativní pro řešení korozní situace v celém Šumperku, neboť korozní měření byla provedena jen ve dvou měřicích bodech (MB 20, MB 21).

Nevyhovující stav je rovněž na SpS v Zábřehu na Moravě a to na uzemnění hromosvodu budovy SpS – viz MB 12, kde potenciály jsou inverzní vůči zpětnému trakčnímu vedení (kolej) a dosahují až + 1,7 V.

Na vodovodním řadu v Zábřehu v žkm. 1,15 který je v souběhu s trati Zábřeh na Moravě – Šumperk, korozní vlivy stejnosměrných bludných proudů zjištěny nebyly.

Dalšími faktory prohlubující tuto problematiku v oblasti Šumperka je existence druhého systému protikorozní ochrany, jež je ve vlastnictví místní vodohospodářské společnosti ŠPVS. Zde dochází k vzájemnému ovlivňování obou ochran RWE a ŠPVS.

Situaci komplikuje ještě další možný zdroj bludných proudů. Je jím trakční zařízení ve vlastnictví firmy Pars Nova. Objekt firmy se nachází v těsné blízkosti drážního zařízení. Uvnitř tohoto areálu se nachází mimo jiného rozsáhlá kolejová síť, v nevyhovujícím technickém stavu, jejíž součástí je i samostatná zkušební trakční kolej. Používání trakce v této firmě je nepravdělné a nelze proto s jistotou určit do jaké míry se na vzniku bludných proudů podílí.

5.2. Časový výběr z celkové doby měření v MB 04 až MB 08

5.2.1 Záznam Korodat MB 04

Tab.13. Měření MB 04

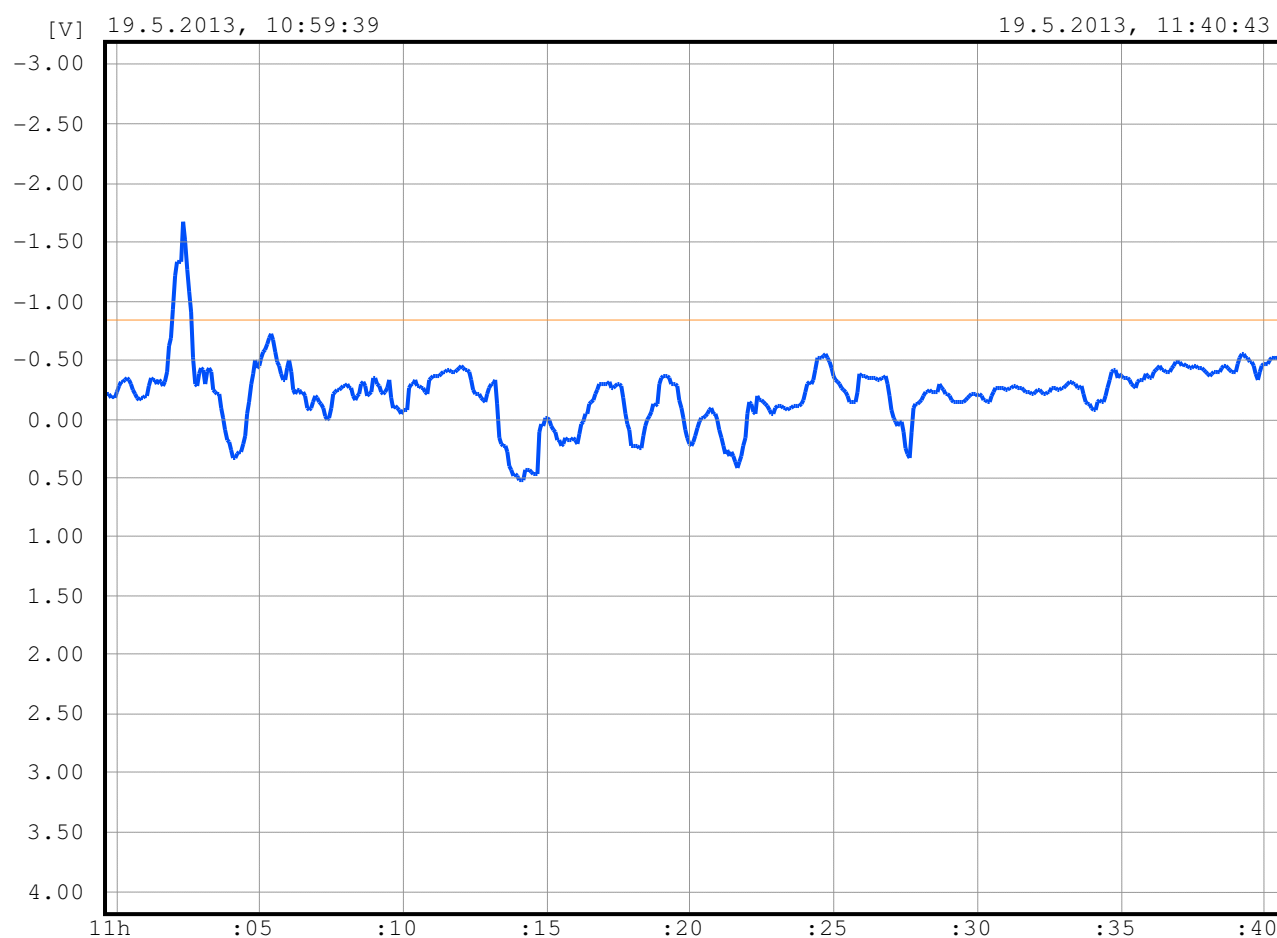
Místo: MB04v - č.pl. 662066, trasový uzávěr, žkm.46,65-Šumperk/referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/24	Kanál: 1: 12 bit, +20.0V
Začátek: 19.5.2013, 10:59:39	Perioda: 1s
Konec: 19.5.2013, 11:40:43	Počet hodnot: 2464

Statistika

Průměrná hodnota..... -0.21V	Limitní hodnota -0.85
Minimální hodnota -1.72V	Chráněno..... 1.5%/-1.31V
Maximální hodnota.....0.54V	Nechráněno.....98.5%/-0.21V

Grafické zobrazení



5.2.2 Záznam Korodat MB 05

Tab.14. Měření MB 05

Místo: MB05v - č.pl. 663007, č.b. 62-VTL, Šumperk-Temenice-
ul.Finská/referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/25	Kanál: 1: 12 bit, +20.0V
Začátek: 19.5.2013, 10:59:39	Perioda: 1s
Konec: 19.5.2013, 11:40:43	Počet hodnot: 2464

Statistika

Průměrná hodnota.....0.81V	Limitní hodnota -0.85
Minimální hodnota -1.72V	Chráněno.....0.7%/-1.41V
Maximální hodnota.....3.53V	Nechráněno..... 99.3%/0.82V

Grafické zobrazení



5.2.3 Záznam Korodat MB 06

Tab.15. Měření MB 06

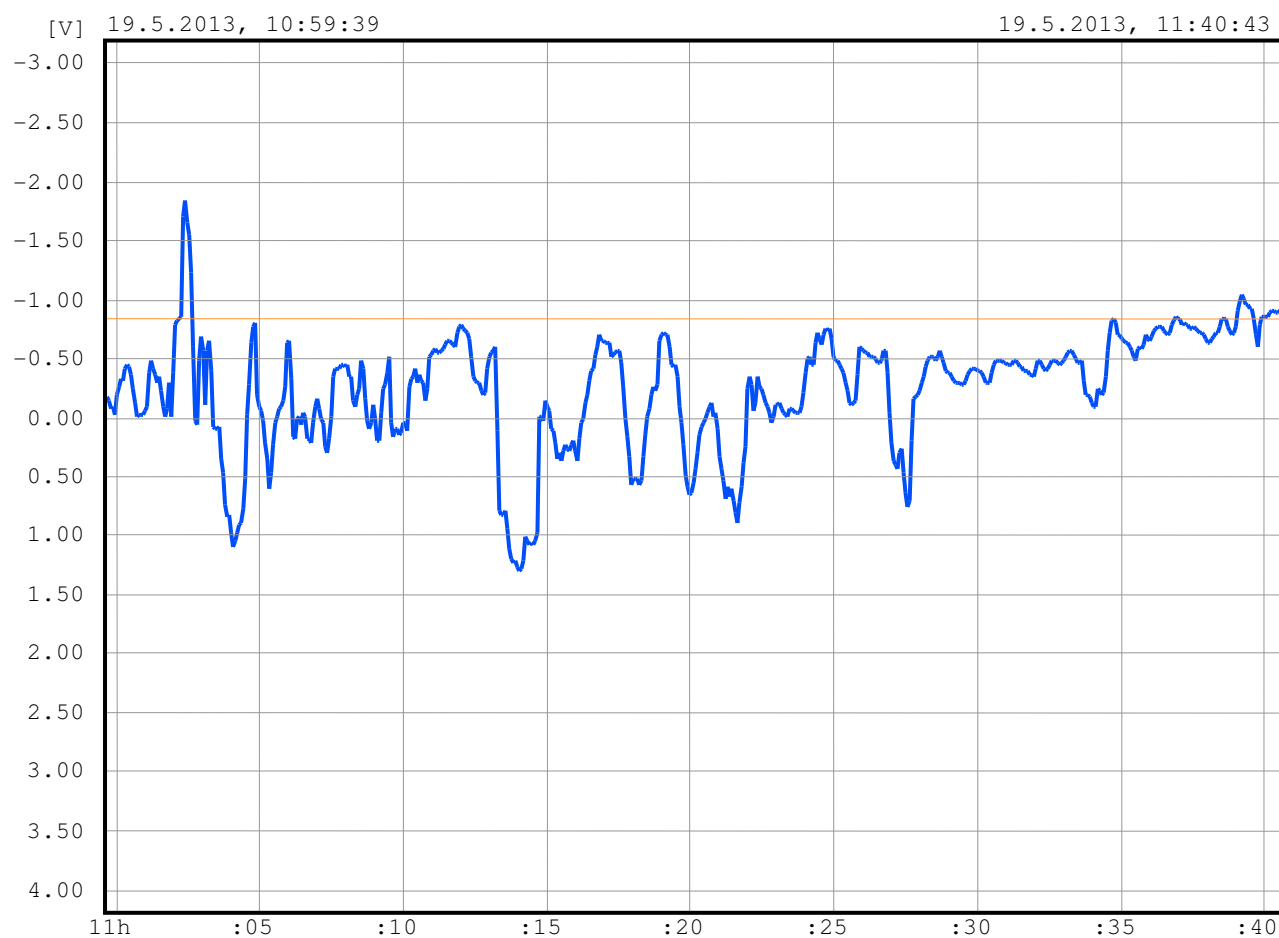
Místo: **MB06v - č.pl. 662066, č.b. 65-VTL/referenční elektroda**

Záznamník: KD5.1/3	Kanál: 1: 12 bit, +20.0V
Začátek: 19.5.2013, 10:59:39	Perioda: 1s
Konec: 19.5.2013, 11:40:43	Počet hodnot: 2464

Statistika

Průměrná hodnota..... -0.24V	Limitní hodnota -0.85
Minimální hodnota -1.86V	Chráněno..... 5.4%/-1.02V
Maximální hodnota..... 1.32V	Nechráněno..... 94.6%/-0.20V

Grafické zobrazení



5.2.4 Záznam Korodat MB 07

Tab.16. Měření MB 07

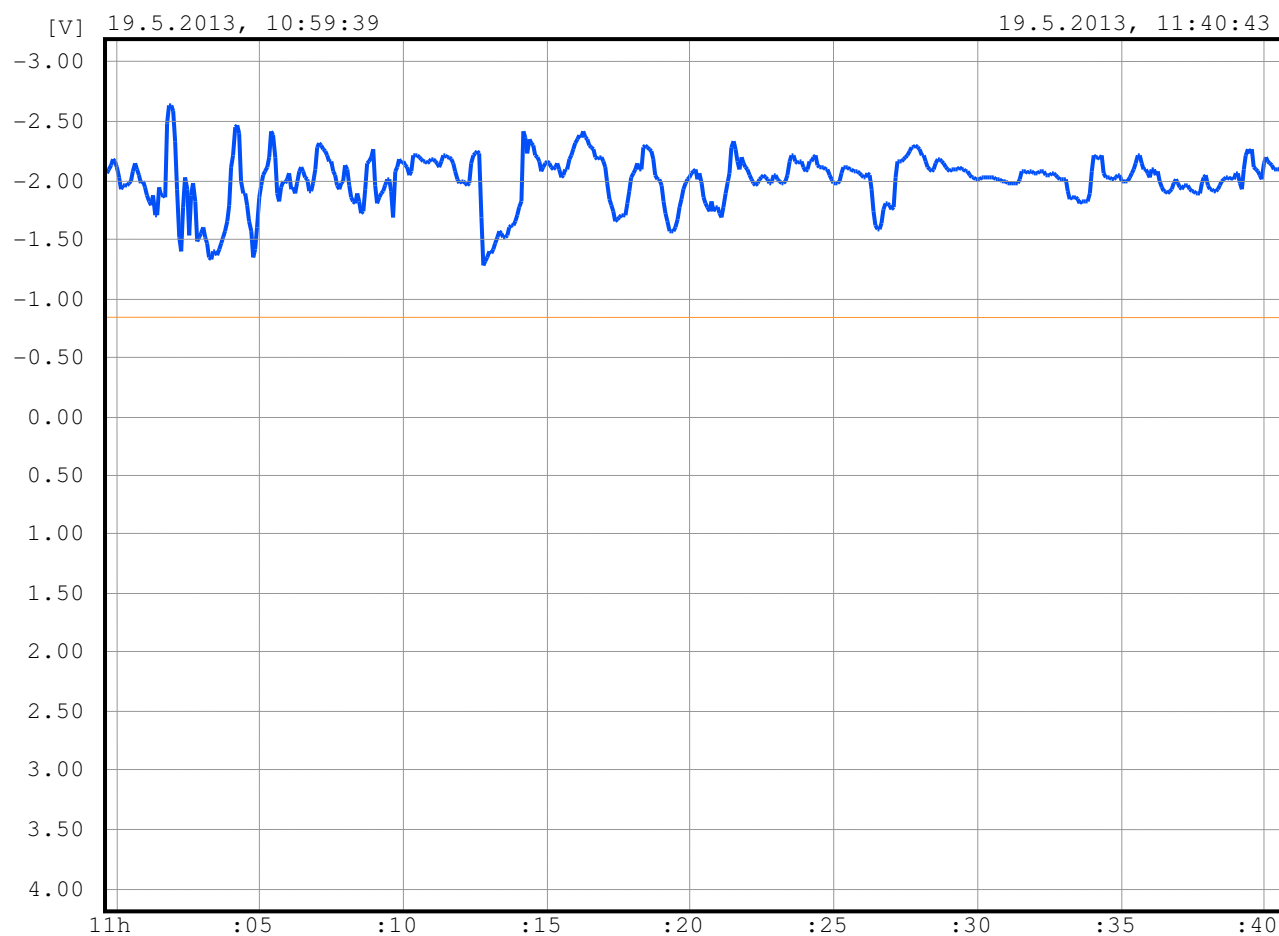
Místo: **MB07v - č.pl. 662066, č.b.121-VTL, žkm. 41,5-Šumperk-**
Uničov/referenční elektroda

Záznamník: KD5.1/22	Kanál: 1: 12 bit, +20.0V
Začátek: 19.5.2013, 10:59:39	Perioda: 1s
Konec: 19.5.2013, 11:40:43	Počet hodnot: 2464

Statistika

Průměrná hodnota..... -2.00V	Limitní hodnota -0.85
Minimální hodnota -2.71V	Chráněno..... 100.0%/-2.00V
Maximální hodnota..... -1.07V	Nechráněno..... 0.0%/-

Grafické zobrazení



5.2.5 Záznam Korodat MB 08

Tab.17. Měření MB 08

Místo:	MB08v - trakční kolej, žkm.46,65-Šumperk/referenční elektroda		
Záznamník:	KD5.1/26	Kanál:	1: 12 bit, +-100V
Začátek:	19.5.2013, 10:59:39	Perioda:	1s
Konec:	19.5.2013, 11:40:42	Počet hodnot:	2463

Statistika

Průměrná hodnota.....	-12.9V	Limitní hodnota	0.00
Minimální hodnota	-29.3V	Záporná polarita.....	95.6%/-14.2V
Maximální hodnota.....	37.8V	Kladná polarita	4.4%/14.7V

Grafické zobrazení



6. Doporučení a závěr:

Doplňkové korozní měření prokázalo korozní ohrožení zejména ocelových plynovodů VTL, STL a některých ostatních úložných zařízení v městě Šumperk a okolí.

Určitý podíl na zhoršení korozní situace VTL plynovodů může mít i doba výstavby plynovodů, kdy izolační schopnost asfaltové izolace vůči půdnímu prostředí klesá – viz tab.9.

6.1. Doporučení k omezení vlivu bludných proudů

1. Odstranit příčinu vlivů bludných proudů na uzemnění hromosvodu SpS Zábřeh na Moravě.
2. Provést kontrolu zpětné trakční cesty včetně všech provedených ukolejnění a izolovaných styků v úseku tratě Bludov – Šumperk vč. všech ŽST.
3. Po odstranění závad, uvedených v bodech 1 a 2, provést opakované kontrolní měření na úložných zařízeních v Šumperku a okolí.
4. Možným řešením korozní situace plynovodů STL, může být vybudování řízené elektrické drenáže plynovodu VTL v místě jeho prostupu pod tratí v žkm 46,65 Zábřeh na Moravě – Šumperk – viz výsledky z měření v MB 04 a MB 15.
5. Ve stanicích ŘSKAO nahradit stávající zastaralé neřízené zdroje napětí, řízenými zdroji KAO
6. Přínosem by byla jistě i užší spolupráce s místní vodárenskou společností a RWE v oblasti protikorozní ochrany.
7. Provéřit, do jaké míry se podílí na vzniku bludných proudů místní opravná kolejových vozidel, společnost PARS Nova a.s v Šumperku. V případě, že se tato skutečnost prokáže, přijmout taková nápravná opatření, aby se zamezilo těmto negativním vlivům.

Zdroje literatury:

- [1] BAJER, P.: Hodnocení stavu a rekonstrukce vodovodních sítí. Bakalářská práce VŠB-TU Ostrava, 2008, 52 stran.
- [2] BLAHETOVÁ, M., ČÍHAL, V., LASEK, S.: Koroze a protikorozní ochrana potrubních zařízení. „Základy koroze a protikorozní ochrany“. Učební texty specializačního kurzu VŠB-TU Ostrava, 2006, 67 stran.
- [3] ČSN 03 8363 - Zásady měření při protikorozní ochraně kovových zařízení uložených v zemi. Měření zdánlivého měrného odporu půdy Wennerovou metodou.
- [4] ČSN 038365:1987/Z1 - Zásady měření při protikorozní ochraně kovových zařízení uložených v zemi.
- [5] ČSN 03 8374 - Zásady ochrany podzemních kovových zařízení
- [6] ČSN 03 8375 - Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi
- [7] ČSN 34 1500 – Elektrotechnické předpisy – předpisy pro trakční zařízení
- [8] ČSN EN 12954:2001 - Katodická ochrana kovových zařízení uložených v půdě nebo vodě - Všeobecné zásady a aplikace na potrubí Praha: Český normalizační institut, 2001. 32 s. Třídící znak 03 8355.
- [9] ČSN EN 13509:04 - Měřicí postupy v katodické ochraně.
- [10] ČSN EN 50122-1 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení. Část 1: Ochranná opatření vztahující se na elektrickou bezpečnost a uzemnění
- [11] ČSN EN 50122-2 ed. 2. Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Elektrická bezpečnost, uzemnění a zpětný obvod – Část 2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů DC trakčních soustav. Praha: Český normalizační institut, 2011. 28 s. Třídící znak 34 1520.
- [12] ČSN EN 50162:2004 - Ochrana před korozí bludnými proudy ze stejnosměrných proudových soustav
- [13] Časopis Koroze a ochrana materiálu, [cit. 26.4.2014]. Dostupný z www: <http://www.casopis-koroze.cz/>
- [14] ČLUPEK, O.: Koroze a protikorozní ochrana potrubních zařízení. „Diagnostika a rehabilitace potrubních zařízení“. Učební texty specializačního kurzu VŠB-TU Ostrava, 2009, 28 stran.
- [15] ČLUPEK, O., DAVIDOVÁ, H.: Koroze a protikorozní ochrana potrubních zařízení. Učební texty specializačního kurzu VŠB-TU Ostrava, 2006, 61 stran.
- [16] ČLUPEK, O., DAVIDOVÁ, H.: Koroze a protikorozní ochrana potrubních zařízení. „Základy pasivní a aktivní protikorozní ochrany“. Učební texty specializačního kurzu VŠB-TU Ostrava, 2004, 62 stran.

- [17] DAVIDOVÁ, H.: Koroze a protikorozi ochrana potrubních zařízení. „Diagnostika a rehabilitace plynovodů“. Učební texty specializačního kurzu VŠB-TU Ostrava, 2009, 15 stran.
- [18] GAIDA, A.: Elektrochemická koroze bludnými proudy. Diplomová práce VŠB-TU Ostrava, 2012, 63 stran.
- [19] JANSÁ, F., PELEŇSKÝ, Š., Napájení elektrických drah 3, 2.vydání, Bratislava: Alfa-vydavatelství technické a ekonomické literatury, 1982. 199s.
- [20] KOUDELKA, Ctirad. Bludné proudy [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Katedra obecné elektrotechniky, prosinec 2003 [cit. 26.4..2014]. Dostupný z [www: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne_proudy.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne_proudy.pdf)
- [21] MATOUŠ, Jan. Problematika drenážování na koridorových tratích [online]. Ostrava, 2009 [cit. 26.4.2014]. Dostupný z [www: http://www.ateko.info/download/2009/matous.pdf](http://www.ateko.info/download/2009/matous.pdf)
- [22] MÍČKO, František. Katodická ochrana místních rozvodů [online]. Ostrava, 2008 [cit. 26.4.2014]. Dostupný z [www: http://www.ateko.info/download/2008/micko1.pdf](http://www.ateko.info/download/2008/micko1.pdf)
- [23] MÍČKO, František. Použití automaticky řízených saturací k účinné ochraně proti bludným proudům [online]. Ostrava, 2009 [cit. 26.4.2014]. Dostupný z [www: http://www.ateko.info/download/2009/micko2.pdf](http://www.ateko.info/download/2009/micko2.pdf)
- [24] NOVÁK, Pavel, a kolektiv. Korozní inženýrství [online]. Praha: Vysoká škola chemicko – technologická v Praze, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, 2002 [cit. 26.4..2014]. Dostupný z [www: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/index.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/index.htm)
- [25] Novotný Tomáš, Rada Pavel, systém Korodat-4, [cit. 26.4..2014]. Dostupný z [www: http://www.ateko.info/download/1995/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1kaNovotn%C3%BD,Rada.pdf](http://www.ateko.info/download/1995/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1kaNovotn%C3%BD,Rada.pdf)
- [26] PALEČEK, Josef. Zemní proudová pole v okolí elektrizovaných tratí [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2006 [cit. 26.4.2014]. Dostupný z [www: http://www.ateko.info/download/2006/palecek.pdf](http://www.ateko.info/download/2006/palecek.pdf)
- [27] POLÁK, J., VELETA, P.: Rukověť katodické protikorozi ochrany. 1. vyd. Praha: Český plynárenský svaz, 2002, 534 stran, ISBN 3-527-29586-0.
- [28] POLÁK, Josef. Katodická protikorozi ochrana a způsoby snižování koroze bludnými proudy. Praha: Chemoprojekt, 1992. 614 stran.
- [29] SOBOLIČOVÁ, R., ŠPAČEK, A., POLÁK, J. Ochrana ocel'ovej výstuže betónu proti korózii a agresívnom prostredí a proti účinkom bludných prúdov. 1. vydanie, Bratislava: Výzkumný ústav inžinierskych stavieb, 1985. 68 s.
- [30] Technická dokumentace firmy KPTECH s.r.o.
- [31] TUHOVČÁK, Ladislav. Trubní materiály a jejich hodnocení z hlediska koroze. In Příčiny koroze a protikorozi ochrana vodovodního potrubí a armatur: Sborník z mezinárodního odborného semináře, Brno 7. 2. 2002. Editor: Ladislav Tuhovčák. Brno: CERM, 2002, ISBN 80-7204-227-0.

- [32] VELETA, Pavel, ČLUPEK Otakar, DAVIDOVÁ, Helena, FRANZ, Ferdinand. Protikoroční ochrana. In Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě. Praha: GAS s. r. o., 1997, ISBN 80-902339-6-1.

Seznam příloh:

- < 1.> Příloha měření: výstup z měřicího systému Korodat
- < 2.> Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi – elektrická proudová pole
- < 3.> Stupně základních pasivních ochranných opatření pro omezení vlivu bludných proudů
- < 4.> Celková situace plynovodů VTL v okolí Šumperka

Seznam obrázků:

- Obr.1 Ušlechtilost kovů [24] cit, doplněk přednášek s. 40-41
- Obr.2 Schéma obvodu trakčního proudu u stejnosměrné trakční proudové soustavy a průběhy potenciálů „kolej - zem“ U_{KZ} a „úložné zařízení - zem“ U_{UZ} , [26] cit., s. 42
- Obr.3 Přenosná měděná referenční elektroda, [27] cit., s.172
- Obr.4 Blokové schéma zapojení přístroje Korodat, [27] cit., s. 51
- Obr.5 Blokové schéma vnitřního uspořádání přístroje Korodat, [27] cit., s. 50

Seznam tabulek:

- Tab.1. Elektrochemické vlastnosti některých důležitých kovů [27] cit, s. 27
- Tab.2. Stupeň katodické ochrany v závislosti na posunu polarizačního potenciálu [27] cit, s. 61
- Tab.3. Potenciál kovů a slitin v neutrálních půdách a ve sladkých vodách [27] cit, s. 29]
- Tab.4. Použité měřicí přístroje a zařízení
- Tab.5. Seznam měřících míst. Realizováno dne 18.5-19.5.2013 -VTL a TNS Šumperk
- Tab.6. Seznam měřících míst. Realizováno dne 6.6.2013– VTL a TNS Zábřeh na Moravě
- Tab.7. Seznam měřících míst. Realizováno dne 7.6.2013 – Regulační stanice VTL/STL
- Tab.8. Seznam měřících míst. Realizováno dne 10.6.2013 – Úložná zařízení v blízkosti kolejíště ŽST Šumperk
- Tab.9. Stáří dotčených měřených plynovodů
- Tab.10. Proudová pole
- Tab.11. Použitá dokumentace
- Tab.12. Tabulka naměřených hodnot z celkové doby měření
- Tab.13. Měření MB 04
- Tab.14. Měření MB 05
- Tab.15. Měření MB 06
- Tab.16. Měření MB 07
- Tab.17. Měření MB 08